



TESIS – TE142599

**DESAIN MODEL MPPT BARU PADA
TOPOLOGI PV *FARM* BERBASIS *CLUSTER*
YANG TERTUTUP BAYANGAN SEBAGIAN**

CIPTIAN WERIED PRIANANDA
2213201026

DOSEN PEMBIMBING
Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS – TE142599

**DESAIN MODEL MPPT BARU PADA
TOPOLOGI PV *FARM* BERBASIS *CLUSTER*
YANG TERTUTUP BAYANGAN SEBAGIAN**

CIPTIAN WERIED PRIANANDA
2213201026

DOSEN PEMBIMBING
Dedet Candra Riawan, S.T.,M.Eng.,Ph.D.
Dr.Ir.Soedibyo.,M.MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS – TE142599

NEW APPROACH OF MPPT FOR PV FARM UNDER PARTIALLY SHADED CONDITION BASED ON NEW CLUSTER TOPOLOGY

CIPTIAN WERIED PRIANANDA
2213201026

SUPERVISOR

Dedet Candra Riawan, S.T.,M.Eng.,Ph.D.
Dr.Ir.Soedibyo.,M.MT.

MAGISTER PROGRAM
POWER SYSTEM ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Ciptian Wieried Priananda
NRP. 2213201026

Tanggal Ujian : 9 Januari 2017
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh:

1. **Dedet Candra Riwana, S.T., M.Eng., Ph.D.**
NIP: 197311192000031001

(Pembimbing I)

2. **Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.**
NIP: 195512071980031004

(Pembimbing II)

3. **Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.**
NIP: 194907151974121001

(Penguji)

4. **Dr. Eng. Ronny Seto Wibowo, S.T., M.T.**
NIP: 197411292000121001

(Penguji)

5. **Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.**
NIP: 197007121998021001

(Penguji)

an. **Direktur Program Pascasarjana**
Asisten Direktur

Prof. Dr. Ir. P. Widjaja, M.Eng.
NIP. 196110211966031001

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202198701001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“DESAIN MODEL MPPT BARU PADA TOPOLOGI PV FARM BERBASIS CLUSTER YANG TERTUTUP BAYANGAN SEBAGIAN”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017



Ciptian Wieried Priananda

NRP. 2213201026

DESAIN MODEL MPPT BARU PADA TOPOLOGI PV *FARM* BERBASIS *CLUSTER* YANG TERTUTUP BAYANGAN SEBAGIAN

Nama mahasiswa : Ciptian Wieried Priananda
NRP : 2213201026
Pembimbing : 1. Dedet Candra Riawan, S.T.,M.Eng.,Ph.D.
2. Dr.Ir.Soedibyo.,M.MT.

ABSTRAK

Penelitian ini mencoba mengoptimasi daya yang dipanen oleh rangkaian PV *farm* dengan melakukan *Clustering* pada area PV *farm* yang tertutup oleh bayangan sebagian kemudian melakukan proses MPPT pada setiap *Cluster* yang terbentuk. *Clustering* ini berdasarkan klasifikasi pembacaan besaran tegangan pada setiap *string* PV *farm* dengan kendali *Smart Control*. Penelitian ini merancang miniatur PV *farm* kapasitas kecil yang terdiri dari 20 modul PV 3 *watt-peak* yang disusun membentuk 5 buah *string* dan setiap *string* terdiri dari 4 buah modul PV. Keluaran dari masing-masing *Cluster* akan masuk dalam satu topologi konverter dengan algoritma *Modified PnO* dan *Firefly* sebagai algoritma MPPT. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi metode *Cluster* dan MPPT bisa meningkatkan pemanenan daya pada *photovoltaic* dengan kondisi tertutup bayangan sebagian.

Kata kunci: *algoritma Firefly*, *algoritma Modified PnO*, *Clustering*, optimasi daya, PV *farm*

Halaman ini sengaja dikosongkan

***NEW APPROACH OF MPPT
FOR PV FARM UNDER PARTIALLY SHADED CONDITION
BASED ON NEW CLUSTER TOPOLOGY***

By : Ciptian Weriend Priandana
Student Identity Number : 2213201026
Supervisor(s) : 1. Dedet Candra Riawan, S.T.,M.Eng.Ph.D.
2.Dr.Ir.Soedibyo,M.MT.

ABSTRACT

This research optimize the power harvested by PV farm by Clustering in areas covered by the shadow of a cloud. This Clustering based on the classification reading of the magnitude of voltage on each PV string controlled with Fuzzy Logic Control. This research will design miniature with small capacity of PV farm consisting of 20 PV modules that arranged by 5 string, and each string consists of 4 pieces of PV modules 3 watt-peak. The output of each Cluster will be entered as input for converter topology with Modified PNO and Firefly algorithm as the MPPT algorithm. The result of this research shows that the proposed method can increase output power of PV farm.

Keywords: Clustering, Firefly Algorithm, Modified PNO Algorithm, Power Optimization, PV farm

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, pada akhirnya pengerjaan Tesis untuk program Magister Teknik Elektro ini telah selesai dilalui. Semoga Tesis dan penulisan laporan pengerjaan Tesis ini bisa bermanfaat dan bisa menjadi rujukan untuk penelitian berikutnya. Penulis haturkan puji syukur kehadiran Allah SWT, yang senantiasa dengan kasih sayang-Nya selalu menguatkan penulis dalam pengerjaan Tesis ini dan selalu memberikan kesempatan yang baik untuk penulis agar bisa selalu berkembang dan memperbaiki diri.

Tesis ini disusun sebagai syarat untuk meraih gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, namun hakikatnya pembelajaran tidak berhenti sampai disini. Masih banyak hal yang kurang dan selayaknya diperbaiki, dalam bidang keilmuan pun masih banyak hal-hal yang bisa dikembangkan untuk memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kemanusiaan dan bagi lingkungan. Semoga Tesis ini bisa menjadi bentuk sumbangsih penulis untuk mengembangkan ilmu pengetahuan sekaligus bisa menjadi bahan studi komparasi untuk penelitian berikutnya. Tiada gading yang tak retak, maka apabila kemudian ditemukan kesalahan dalam konteks keilmuan dan penulisan buku laporan Tesis ini, penulis dengan tangan terbuka dan senang hati untuk berdiskusi dan diperbaiki.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, dengan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan Penelitian ini. penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, karena keridhoan-Nya penulis menyelesaikan Proyek Akhir ini, serta hamba-Nya yang termulia Rasullullah Muhammad SAW.
2. Ibuk dan Bapak, tanpa kasih sayang dan doamu, penulis bukanlah siapa-siapa.
3. Mbok Nan, dijaga *kesehatane*.
4. Prof Joni Hermana selaku rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Prof Djahuar Manfaat selaku direktur Pascasarjana Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Bapak Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Elektro.
6. Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D., dan Bapak Dr. Ir Soedibyo, M.MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, nasihat, dorongan, motivasi dan arahan terhadap penyelesaian penelitian ini.
7. Bapak Antonius Rajagukguk, selaku pembimbing bayangan, inspirator sekaligus partner diskusi yang banyak mengajari ilmu dan kebijaksanaan.
8. Prof. Ontoseno Penangsang selaku dosen wali, figur yang penulis kagumi sekaligus sebagai dosen penguji, Bapak Rony Seto Wibowo, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan dan nasihat untuk perbaikan penelitian ini.
9. Bapak–Bapak dan Ibu-Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro, beserta Staf Karyawan, yang telah banyak membimbing dan memberi banyak ilmu pengetahuan pada penulis.

10. Mas Ika, Mbak Ika dan mas Rais, mas Rehan, terima kasih untuk motivasi dosis tingginya.
11. Mas Yulis, Mbak Yeni, dhek Azzam dan mas Adzim, dhek Zizil terima kasih sudah menjadi sahabat terbaik penulis selama ini, menjadi tempat penulis menyandarkan segala keluhan. Terima kasih untuk segala kebaikan, kebahagiaan dan ketenteraman yang tidak mungkin bisa penulis balas.
12. Mas Hari, Mbak Vita, dhek Putri, semoga Allah senantiasa memberikan kesabaran dan anugerah kebaikan.
13. Semua saudara-saudaraku, di Blitar, di Malang, dan dimanapun terima kasih untuk semua doa dan dukungan yang tak pernah surut.
14. Untuk semua yang pernah penulis temui, yang mungkin tidak tersebut namanya, Anda adalah guru-guru untuk saya belajar memahami arti hidup ini.
15. Herna Nive Dea, S.Pd, terima kasih untuk hal-hal baik yang engkau hadirkan dan untuk semua anugerah kebaikan dan keberkahan yang ada pada dirimu, semoga Allah bisa membalas semua kebaikanmu untukku.
16. Penghuni dan rekan perjuangan Lab KE, *cak* Ari, tante Septi, bro Resa, om Adi, Pak Anton, Pak Fadil, Bu Dwiana, Bu Riny, terima kasih banyak untuk kehadiran dan dukungan moral kepada penulis, semoga Allah selalu melimpahkan kasih sayang, kesehatan yang berkah dan kemurahan rezeki pada kita semua.
17. Sahabat – sahabat pascasarjana Elektro 2013, 2014, 2015 dan semua yang ada di lembar presensi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, *atur nuhun sanget rek.., atur nuhun sanget pokoke.*
18. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro ITS yang bersedia membantu baik secara moril dan bimbingan demi kelancaran Penelitian ini.

Akhir kata semoga segala bantuan yang diberikan selama ini dapat dicatat sebagai amal yang baik dan mendapat balasan dari Allah SWT. Semoga Allah SWT selalu memberikan limpahan rahmat, barokah dan nikmat-Nya bagi kita semua. Amin.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
UCAPAN TERIMA KASIH	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Sistem <i>Photovoltaic Farm</i>	7
2.2.1 <i>Photovoltaic</i>	7
2.2.2 <i>Shadding</i> pada PV Farm	12
2.2.3 Topologi Konverter pada PV Farm	14
2.3 <i>Smart Cluster</i> Berbasis Tegangan String	15
2.4 <i>Maximum Power Point Tracker</i> pada PV Farm	17
2.4.1 Modified PnO Algorithm	18
2.4.2 <i>Firefly Algorithm</i>	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Konfigurasi Sistem	23
3.2 Perencanaan Simulator	25
3.3 Perencanaan <i>Hardware</i>	27
3.3.1 Sensor Tegangan dan <i>Dummy Load</i>	27

3.3.2 <i>Combiner</i>	28
3.3.3 DC-DC <i>Boost</i> Konverter (<i>Cluster 1</i>)	29
3.3.4 DC-DC <i>Buck</i> Konverter (<i>Cluster 2</i>)	33
3.3.5 DC-DC <i>Buck</i> Konverter (<i>Cluster 3</i>)	37
3.3.9 Integrasi Hardware	41
3.4. Perencanaan <i>Software</i>	42
3.4.1 Desain Algoritma <i>Smart Cluster</i>	42
3.4.2 Desain Algoritma Modified PnO sebagai MPPT <i>Cluster 1</i> dan <i>Cluster 3</i>	48
3.4.3 Desain Algoritma <i>Firefly</i> sebagai MPPT <i>Cluster 2</i>	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Karakteristik <i>Photovoltaic Farm</i>	53
4.1.1 Karakteristik <i>Uniform</i>	54
4.1.2. Efek Dioda <i>Bypass</i> pada String PV <i>Farm</i>	57
4.1.3. Efek <i>Partially Shaded Condition</i>	59
4.1.4. Karakteristik PV <i>Farm</i> Setelah <i>Clustering</i>	64
4.2 <i>Hardware</i>	66
4.2.1 DC-DC <i>Boost</i> Konverter (<i>Cluster 1</i>)	66
4.2.2 DC-DC <i>Buck</i> Konverter (<i>Cluster 2</i>)	67
4.2.3 DC-DC <i>Buck</i> Konverter (<i>Cluster 3</i>)	68
4.3 Simulator	70
4.3.1 Pengujian <i>Single</i> Topologi dengan Algoritma <i>Modified PnO</i>	70
4.3.2 Pengujian <i>Single</i> Topologi dengan Algoritma <i>Firefly</i>	73
4.3.3 Pengujian Pendekatan MPPT Baru Berbasis <i>Cluster</i>	75
4.4 Pengujian Prototipe Sistem MPPT Baru pada PV <i>Farm</i> Berbasis <i>Cluster</i>	79
BAB 5 PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87
TENTANG PENULIS	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penggunaan <i>Photovoltaic</i> di Nevada USA [13]	7
Gambar 2.2 Ilustrasi <i>Photovoltaic</i> [12]	8
Gambar 2.3 Rangkaian Ekivalen Sederhana PV [13].....	9
Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen PV [13].....	9
Gambar 2.5 Pemasangan Seri dan Paralel PV	10
Gambar 2.6 Kurva karakteristik (I-V)	11
Gambar 2.7 Kurva karaktersistik I-V, dengan Pengaruh Temperatur dan Radiasi.....	11
Gambar 2.8 Kurva Karakteristik P-V, dengan Pengaruh Temperatur dan Radiasi.....	11
Gambar 2.9 PV <i>Farm</i> yang Tertutup Bayangan Awan yang Melintas	12
Gambar 2.10 Efek <i>Diode Bypass</i> pada <i>Modul Shaded</i>	13
Gambar 2.11 Kurva Karakteristik P-V dengan Beberapa Puncak Daya	14
Gambar 2.12 Topologi PV <i>Farm</i> : (a) <i>Single Inverter</i> (b) <i>String Inverter</i> (c) <i>Multi String Inverter</i> (d) <i>Central Inverter</i>	14
Gambar 2.13 Sistem tanpa <i>Cluster</i> dan dengan <i>Cluster</i>	16
Gambar 2.14 Prinsip kerja MPPT.....	17
Gambar 2.15 Prinsip kerja MPPT Berbasis P&O.....	18
Gambar 2.16 <i>Flowchart</i> prinsip kerja MPPT <i>Modified P&O</i>	19
Gambar 2.17 <i>Flowchart Firefly Algorithm</i>	21
Gambar 3.1 Konfigurasi Sistem MPPT Baru Berbasis <i>Cluster</i>	23
Gambar 3.2 Konfigurasi Simulasi	25
Gambar 3.3 Parameter Karakteristik Modul 3 WP : (a) Simulasi Software (b) Perangkat Sebenarnya	26
Gambar 3.4 Sensor Tegangan dan <i>Dummy Load</i>	27
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Combiner</i>	28
Gambar 3.6 Rangkaian Konverter <i>Boost</i>	29
Gambar 3.7 Rangkaian Konverter <i>Boost</i> untuk <i>Cluster 1</i>	33
Gambar 3.8 .Rangkaian Konverter <i>Buck</i>	34

Gambar 3.9 Rangkaian Konverter <i>Buck</i> untuk <i>Cluster 2</i>	37
Gambar 3.10 Rangkaian Konverter <i>Buck</i> untuk <i>Cluster 3</i>	41
Gambar 3.11 Rangkaian Integrasi Sistem MPPT berbasis <i>Cluster</i>	42
Gambar 3.12 Kurva Karakteristik PV <i>Farm</i> saat <i>Uniform</i>	43
Gambar 3.13 Kurva Karakteristik PV <i>Farm</i> saat Tertutup Bayangan Sebagian	44
Gambar 3.14 Kurva Karakteristik PV <i>Farm</i> saat Tertutup Bayangan Sebagian dengan Pendekatan <i>Cluster</i>	45
Gambar 3.15 Algoritma <i>Smart Cluster</i>	47
Gambar 3.16 Flowchart Algoritma <i>Modified PnO</i> sebagai MPPT	49
Gambar 3.17 Flowchart Algoritma <i>Firefly</i> sebagai MPPT	50
Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian Karakteristik <i>Photovoltaic Farm</i>	53
Gambar 4.2 Pengujian Karakteristik PV <i>Farm</i>	54
Gambar 4.3 Kurva Karakteristik I-V dari PV <i>Farm</i>	56
Gambar 4.4 Kurva Karakteristik P-V dari PV <i>Farm</i>	56
Gambar 4.5 Kurva Karakteristik I-V dan P-V dari PV <i>Farm</i> Simulasi	57
Gambar 4.6 (a) Radiasi Tanpa Tertutup Bayangan (b) Radiasi Tertutup Bayangan	58
Gambar 4.7 (a) Skema <i>Shaded</i> pada 1 Modul (b) Pengujian <i>Uniform</i> (c) Pengujian <i>Shaded</i> pada 1 Modul	59
Gambar 4.8 Pengujian Karakteristik PV <i>Farm under Partially Shaded Condition</i>	60
Gambar 4.9 Skema Pengujian <i>Partially Shaded</i> : (a) 25% <i>Shaded</i> (b) 30% <i>Shaded</i>	61
Gambar 4.10 Kurva Karakteristik I-V dari PV <i>Farm</i> dengan Efek <i>Partially Shaded</i>	63
Gambar 4.11 Kurva Karakteristik P-V dari PV <i>Farm</i> dengan Efek <i>Partially Shaded</i>	63
Gambar 4.12 Kurva Karakteristik I-V dan P-V dari PV <i>Farm</i> Simulasi dengan Efek <i>Partially Shaded</i>	64
Gambar 4.13 Kurva Pengujian Karakteristik P-V dari PV <i>Farm</i> setelah <i>Clustering</i>	65

Gambar 4.14 Kurva Simulasi Karakteristik P-V dari PV <i>Farm</i> setelah <i>Clustering</i>	65
Gambar 4.15 Pengujian Konverter <i>Boost</i> : (a) Peforma Transformasi (b) Performa Efisiensi	67
Gambar 4.16 Pengujian Konverter <i>Boost</i> : (a) Peforma Transformasi (b) Performa Efisiensi	68
Gambar 4.17 Pengujian Konverter <i>Buck</i> : (a) Peforma Transformasi (b) Performa Efisiensi	69
Gambar 4.18 Skema Pengujian PV <i>Farm</i>	70
Gambar 4.19 Pengujian MPPT untuk <i>Single</i> Topologi	71
Gambar 4.20 Pengujian MPPT dengan Algoritma <i>Modified PnO</i> untuk <i>Single</i> Topologi dengan Kasus <i>Uniform</i>	71
Gambar 4.21 Pengujian MPPT dengan Algoritma <i>Modified PnO</i> untuk <i>Single</i> Topologi dengan Skema	72
Gambar 4.22 Pengujian MPPT dengan Algoritma <i>Firefly</i> untuk <i>Single</i> Topologi dengan Kasus <i>Uniform</i>	73
Gambar 4.23 Pengujian MPPT dengan Algoritma <i>Firefly</i> untuk <i>Single</i> Topologi dengan Skema.....	74
Gambar 4.24 Respon Daya pada Pengujian MPPT baru dengan Pendekatan <i>Cluster</i> untuk Kondisi <i>Uniform</i>	75
Gambar 4.25 Respon <i>dutycycle</i> pada Pengujian MPPT baru dengan Pendekatan <i>Cluster</i> untuk Kondisi <i>Uniform</i>	76
Gambar 4.26 Respon Daya pada Pengujian MPPT dengan pendekatan <i>Cluster</i> menggunakan tiga buah topologi konverter dengan Skema.....	76
Gambar 4.27 Respon <i>dutycyle</i> pada Pengujian MPPT dengan pendekatan <i>Cluster</i> menggunakan tiga buah topologi konverter dengan Skema.....	77
Gambar 4.28 Pengujian Prototipe Pendekatan MPPT Baru dengan Metode <i>Cluster</i>	79

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Prinsip kerja MPPT berbasis PnO	18
Tabel 3.1 Parameter Konverter <i>Boost</i> untuk <i>Cluster 1</i>	30
Tabel 3.2 Parameter Konverter <i>Buck</i> untuk <i>Cluster 2</i>	34
Tabel 3.3 Parameter Konverter <i>Buck</i> untuk <i>Cluster 3</i>	38
Tabel 4.1 Data Pengujian PV <i>farm</i> dengan Intensitas Radiasi Matahari <i>Uniform</i>	55
Tabel 4.2 Data Pengujian efek Dioda <i>Bypass</i>	58
Tabel 4.3 Pengujian Karakteristik PV <i>Farm Partially Shaded</i>	61
Tabel 4.4 Data Daya Target MPPT untuk Masing-Masing Skema	66
Tabel 4.5 Tabel Pengujian <i>Boost Converter</i> untuk <i>Cluster 1</i>	66
Tabel 4.6 Tabel Pengujian <i>Buck Converter</i> untuk <i>Cluster 2</i>	68
Tabel 4.7 Tabel Pengujian <i>Buck Converter</i> untuk <i>Cluster 3</i>	69
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Algoritma <i>Modified PnO</i> dengan <i>Single Topologi</i>	73
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Algoritma <i>Firefly</i> dengan <i>Single Topologi</i>	74
Tabel 4.10 Hasil Pengujian MPPT dengan Pendekatan <i>Cluster</i>	78
Tabel 4.11 Komparasi metode MPPT dengan pendekatan <i>Cluster</i>	78
Tabel 4.12 Pengujian Algoritma <i>Modified PnO</i> sebagai MPPT dengan <i>Single Topologi</i>	80
Tabel 4.13 Pengujian Algoritma <i>Firefly</i> sebagai MPPT dengan <i>Single</i> <i>Topologi</i>	81
Tabel 4.14 Pengujian Prototipe Pendekatan MPPT Baru Berbasis <i>Cluster</i>	81
Tabel 4.15 Komparasi Semua Metode MPPT dengan Dengan MPPT Berbasis <i>Cluster</i>	82

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi secara global terus meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Indonesia, adalah negara beriklim tropis yang berada di daerah ekuator bola dunia yang menyebabkan Indonesia terpapar radiasi sinar matahari sepanjang tahun. Dengan paparan radiasi matahari yang melimpah ini, maka daerah disekitar ekuator akan memiliki potensi untuk membangun pembangkit energi listrik dari radiasi matahari yang sangat besar sebagai upaya pemenuhan kebutuhan energi listrik.

Photovoltaic (PV), adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk mengonversi energi listrik dari energi primer radiasi matahari. Untuk membuat sebuah pembangkit listrik tenaga radiasi matahari maka diperlukan banyak modul PV yang digunakan. Dengan menyusun banyak modul PV baik secara paralel dan seri maka akan didapatkan sebuah PV Array yang besar. PV Array yang besar ini disebut dengan PV farm.

Pada aplikasinya, pembangkit listrik PV farm akan mencakup area yang cukup luas, sehingga berpotensi besar untuk tertutup pergerakan bayangan awan sebagian areanya. Untuk mengoptimalkan pembangkitan energi listrik ini maka diperlukan rangkaian dan algoritma *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. Tetapi secara konvensional, optimasi daya yang dipanen PV farm akan membutuhkan banyak rangkaian MPPT yang kompleks instalasinya dengan membawa dampak perawatan yang tidak sederhana dan mahal.

Pada penelitian ini akan mencoba mengoptimasi daya yang dipanen dengan melakukan *Clustering* pada area PV farm yang tertutup oleh bayangan awan sebagian. Pengoptimasian akan dilakukan berdasarkan pengelompokan (*Clustering*) *string-string* yang terkena efek dari bayangan awan. Setiap *string* yang terkena efek bayangan awan akan memiliki besaran tegangan tertentu. *Clustering* ini berdasarkan klasifikasi pembacaan besaran tegangan pada setiap *string* PV farm dengan kendali *Smart Algorithm*. Penelitian ini akan merancang miniatur PV farm kapasitas kecil yang terdiri dari 20 modul PV yang disusun

membentuk 5 buah *string* dan setiap *string* terdiri dari 4 buah modul PV. Output dari masing-masing *Cluster* akan masuk dalam 3 buah konverter yang masing-masing dioptimalkan dengan algoritma *Modified* PnO dan algoritma *Firefly*. Diharapkan penelitian ini bisa mengoptimalkan daya dan meminimalisasi biaya perawatan serta penyederhanaan penggunaan rangkaian MPPT untuk PV *farm* skala sebenarnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam sistem yang diusulkan dalam penelitian ini dapat dirumuskan beberapa persoalan sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun sebuah miniatur PV *farm*.
2. Bagaimana melakukan sensing besaran tegangan pada *string* PV *farm*.
3. Bagaimana melakukan *Clustering* PV *farm* agar didapatkan daya pembangkitan yang optimal dengan kombinasi rangkaian MPPT dengan Algoritma *Modified* PnO dan Algoritma *Firefly*.

1.3 Tujuan

Penelitian ini akan merancang prototipe dari miniatur PV *farm* yang terdiri dari 20 modul *photovoltaic* dengan kombinasi 5 buah *string* yang masing-masing *string*-nya terdiri dari 4 buah modul *photovoltaic*. Besarnya tegangan disetiap *string* akan di-*Clustering*-kan menggunakan *Smart Algorithm* untuk kemudian di optimalkan dengan matriks relay menuju rangkaian konverter dengan algoritma MPPT. Algoritma *Modified* PnO dan *Firefly* digunakan sebagai Algoritma MPPT karena relatif sederhana dengan minimalisasi ripple pada sisi daya saat kondisi *steady state* dan mampu meraih nilai *global optimum* MPP untuk *Cluster* dengan kondisi tidak *uniform*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi desain dan pembuatan miniatur PV *farm statis* menggunakan modul *photovoltaic* 3WP, dengan kombinasi 5 string, masing-masing string terdiri dari 4 buah modul PV. Verifikasi simulasi menggunakan software simulasi.

1.5 Kontribusi

Dengan adanya efek dari ketidakseragaman radiasi sinar matahari (*shading effect*) yang mengenai permukaan dari area *photovoltaic farm* (PV Farm) yang relatif luas. Dan karena *shading effect* yang membuat karakteristik daya listrik yang dipanen oleh PV Farm menjadi memiliki beberapa titik MPP, maka diusulkan pendekatan MPPT baru yang menghasilkan pemanenan daya yang lebih besar dari penggunaan algoritma MPPT sebelumnya. Dengan pendekatan *Clustering*, maka pencarian daya optimal dari PV Farm menjadi kombinasi dari total daya-daya maksimum pada area *Cluster*-nya. Sehingga total dayanya diharapkan akan lebih besar dari daya global maksimum yang dicari oleh algoritma MPPT.

1.6 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan dua buah metode pengerjaan, yang pertama adalah menggunakan pendekatan simulasi dan berikutnya adalah menggunakan pendekatan implementasi hardware. Model yang digunakan untuk penelitian ini mengacu pada pemodelan sebelumnya berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan. Pada tahapan simulasi dilakukan pendekatan parameter rangkaian yang didesain ideal dan dimiripkan dengan dengan model implementasi sebenarnya. Pengambilan data penelitian meliputi pengambilan data pada saat simulasi dan implementasi dengan komparasi parameter yang dibangun sebanding dengan parameter-parameter implementasi. Sementara pengambilan data pada implementasi kemungkinan tidak akan seideal hasil yang pada simulasinya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Photovoltaic (PV) adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk mengonversi energi dari energi radiasi matahari menjadi energi listrik. PV memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional. PV dengan energi primernya berupa energi radiasi matahari merupakan sebuah teknologi yang ramah lingkungan, dengan potensi yang sangat besar di daerah tropis seperti Indonesia. Pengembangan PV untuk daerah disekitar khatulistiwa merupakan salah satu solusi untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik.[1-2]

Photovoltaic farm (PV Farm), adalah serangkaian modul PV yang dirangkai dengan kombinasi seri ataupun paralel untuk mendapatkan besaran arus dan tegangan tertentu. Dalam rangkaian PV Farm, modul PV mengikuti karakteristik dari tahanan tiap selnya ketika terkena radiasi sinar matahari. Dengan cangkupan area yang relatif luas, maka akan terdapat perubahan karakteristik yang cukup signifikan apabila radiasi sinar matahari yang mengenai semua modul PV tidak seragam. Ketidakseragaman radiasi sinar matahari yang menerpa PV farm ini sangat mungkin terjadi dalam operasi sehari-hari. [3]

Ketidakseragaman radiasi sinar matahari yang mengenai area PV farm biasanya disebabkan karena beberapa hal. Salah satu diantaranya adalah faktor cuaca berupa pergerakan awan diatas PV farm. Pergerakan awan diatas PV farm sangat mungkin untuk meninggalkan jejak bayangan pada area PV farm. Bayangan yang menutupi PV farm bisa sangat tidak beraturan tergantung dari bentuk awan yang menutupi sinar matahari. Bayangan ini bisa jadi menutup keseluruhan PV farm, namun lebih sering menutup sebagian saja dari area PV Farm. Hal ini akan menjadi persoalan yang sulit untuk dicari solusinya, karena sangat sulit juga untuk memetakan kondisi ketidakseragaman ini. Pemetaan sebagai solusi dipandang kurang realitis karena berarti harus memiliki pola bentuk dan pergerakan awan pada area disekitar pembangunan PV farm setiap saat dan setiap waktu[3].

Kondisi ketidakseragaman radiasi matahari yang mengenai area PV *Farm* sering disebut sebagai fenomena partial shading. Atau fenomena tertutup variasi bayangan (TVB) [3].

Saat ini mulai banyak penelitian yang mencoba untuk memecahkan persoalan pengefektifan pemanenan energi pada PV *farm*. Salah satu metode yang sering digunakan adalah menggunakan metode Maximum Power Point Tracker (MPPT). Sebenarnya MPPT bisa digunakan untuk meningkatkan efektifitas dari pemanenan energi menggunakan modul PV, tetapi untuk modul PV skala besar, khususnya pembangkit energi listrik pada PV *Farm*, MPPT akan menemui kesulitan ketika area PV *Farm* terjadi ketidakseragaman penerimaan intensitas radiasi matahari. Kesulitan tersebut disebabkan algoritma MPPT hanya bisa mengoptimalkan daya yang terdapat pada titik lokal Maximum Power Point (MPP). Pada kondisi ketidakseragaman intensitas radiasi matahari, akan terdapat beberapa titik MPP, sehingga perlu metode lebih lanjut untuk mendapatkan titik MPP yang paling optimal (global optimum)[4-6].

Penggunaan algoritma yang lebih kompleks dalam pencarian titik MPP juga banyak dilakukan. Algoritma artificial intelligent (AI) seperti PSO, *Firefly*, modified PnO yang diaplikasikan sebagai algoritma MPPT bisa digunakan untuk menentukan titik global optimum pada kondisi tertutup bayangan sebagian di satu modul PV. Namun metode ini belum cukup teruji untuk diimplementasikan pada hardware untuk skala yang lebih luas misalnya pada PV *farm*. [7-11]

Penelitian lain juga telah dilakukan dalam rangka mengembangkan kombinasi algoritma PnO dengan Fuzzy Logic Control (FLC) untuk mendapatkan titik MPP [11]. Pada metode ini controller MPPT berfungsi sebagai pengendali pergerakan duty-cycle dari konverter DC-DC.

Dari kebanyakan metode yang ditawarkan, terutama metode MPPT masih diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk bisa digunakan pada PV *Farm* skala besar. Disamping itu dengan penggunaan MPPT pada setiap modul PV, akan menambah biaya investasi dari pembangunan pembangkit listrik menggunakan energi radiasi matahari. Penelitian ini akan membahas tentang metode klasifikasi pada PV *Farm*, dengan menggunakan matriks relay, dengan berdasarkan pembacaan sensor tegangan pada setiap string. Pengklasifikasian

akan dibantu menggunakan algoritma *Smart Cluster* yang akan menghasilkan skema pensaklaran matriks relay sesuai dengan pengklasifikasian magnitude tegangan disetiap string. Masing-masing klasifikasi nantinya akan masuk pada konverter yang didalamnya sudah tertanam algoritma MPPT. Diharapkan dengan metode ini maka peningkatan efektifitas pemanenan energi menggunakan PV *farm* bisa lebih baik, disamping juga akan mereduksi besarnya anggaran investasi apabila menggunakan metode konvensional.

2.2 Sistem Photovoltaic Farm

2.2.1 Photovoltaic

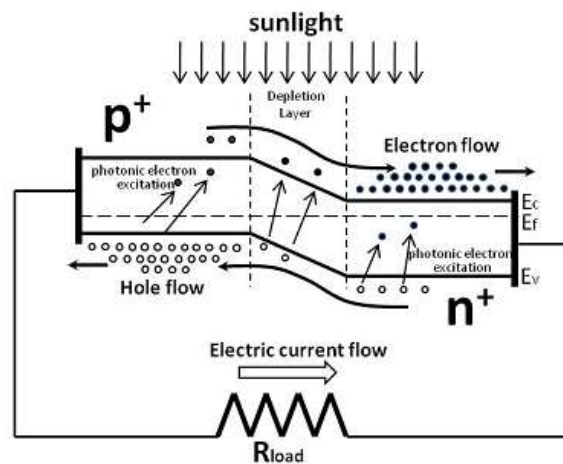
Photovoltaic adalah salah satu bentuk sumber energi yang paling berpotensi untuk masa depan, hal ini dikarenakan karaktersitiknya yang bebas polusi juga ketersediaan energi primernya yang tidak terbatas. Namun demikian, perkembangan teknologi *photovoltaic* belum bisa mencapai tingkat effisiensi yang tinggi. *Photovoltaic* masih perlu untuk diteliti dan dikembangkan agar menghasilkan konversi energi yang memiliki effisiensi lebih besar.

Photovoltaic dibuat dari begitu banyak bagian-bagian kecil yang disebut sel surya yang terkoneksi seri dan paralel untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dibutuhkan [12]. Kumpulan dari banyak sel surya disebut dengan modul atau panel surya. Gambar 2.1 adalah contoh penggunaan *Photovoltaic* di Amerika Serikat.



Gambar 2.1 Penggunaan *Photovoltaic* di Nevada USA [13]

Ketika cahaya matahari yang berupa paket-paket partikel membentur mengenai sebuah material semikonduktor yang bersifat positif dan negatif, partikel-partikel disebut *photon* ini mentransfer energi karena benturannya terhadap material menyebabkan atom-atom material kehilangan elektron-elektronnya. Elektron-elektron ini bergerak menuju permukaan dan menyebabkan permukaan yang berseberangan menjadi bermuatan positif. Apabila sebuah penghantar diletakkan diantara kedua perbedaan muatan diantara permukaan material seperti ini, dan benturan partikel photon terhadap material berlanjut secara konstan dan kontinyu, maka arus elektron akan terus bergerak dengan stabil. Begitulah energi listrik diproduksi oleh *photovoltaic* [12].

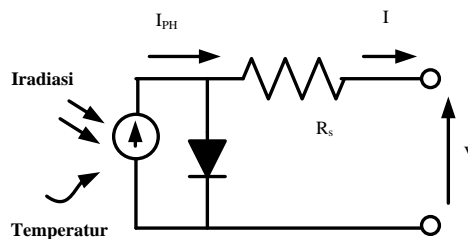


Gambar 2.2 Ilustrasi *Photovoltaic* [12]

Prinsip kerja sebuah *photovoltaic* dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.2. Benturan *photon* dengan material semikonduktor pada sel *photovoltaic*, membuat *elektron* tereksitasi dan mengalir memungkinkan adanya aliran gaya gerak listrik jika diberi konduktor.

Pada sistem *Photovoltaic farm*, banyak modul *photovoltaic* yang disusun secara seri dan paralel menghasilkan kombinasi yang tersusun menjadi array yang menutupi area yang luas. Dengan area yang sangat luas ini, diharapkan akan banyak menampung paparan sinar matahari yang kemudian bisa dikonversi menjadi energi listrik.

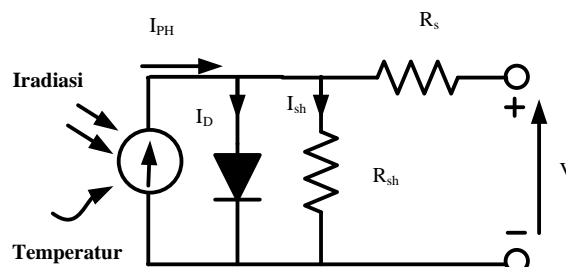
Photovoltaic (PV) dapat dimodelkan secara sederhana sebagai suatu rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber arus yang terpasang paralel dengan sebuah dioda seperti pada Gambar 2.3. Besar arus luaran dari suatu PV berbanding lurus dengan besar radiasi sinar matahari yang diterima oleh sel tersebut, sedangkan kurva karakteristik I-V dari PV ditentukan oleh karakteristik dioda [13].



Gambar 2.3 Rangkaian Ekivalen Sederhana PV [13]

Namun dalam perkembangannya, model PV tidak sesederhana seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3, akan tetapi dalam prakteknya ada beberapa parameter yang harus ditambahkan sehingga model PV menjadi semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4. Penambahan parameter tersebut antara lain :

- Arus saturasi dioda (I_D) yang tergantung pada temperatur.
- Arus *photocurrent* (I_{PH}) yang juga tergantung pada suhu.
- Hambatan seri (R_s) yang memberikan bentuk yang jelas antara *maximum power point* dengan tegangan *open circuit*.
- Hambatan paralel (R_{sh}) yang paralel dengan diode.



Gambar 2.4 Rangkaian Ekivalen PV [13]

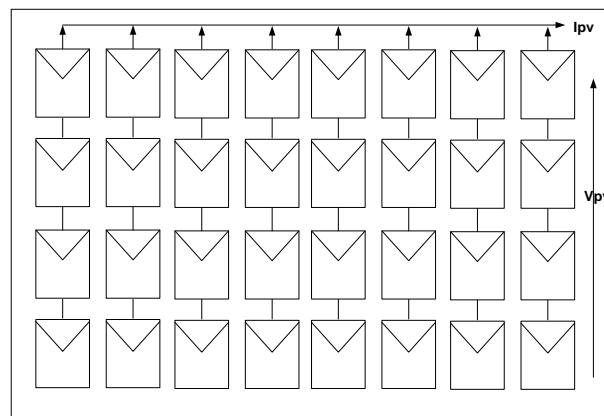
Dari Gambar 2.4 terlihat bahwa terdapat sedikit perubahan pada rangkaian ekivalen PV. Sehingga persamaan dasar dari suatu PV dapat dirumuskan sebagaimana persamaan 2.1 adalah seperti berikut [10]:

$$I = I_{PH} - I_D \left[e^{\frac{q(V + IR_s)}{nKT}} - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (2.1)$$

dimana:

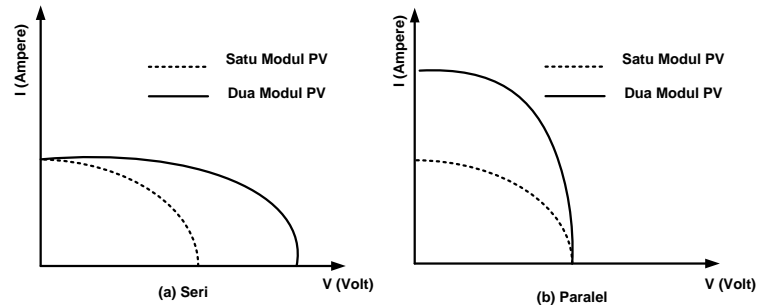
- I : arus keluaran PV (ampere).
- I_{PH} : efek *photocurrent* yang terbangkit pada PV (ampere).
- I_D : arus saturasi dioda.
- q : muatan elektron= $1,6 \times 10^{-19}$ (coulomb).
- K : konstanta Boltzman (joule/kelvin).
- T : temperatur sel (kelvin).
- R_s : resistansi seri sel (ohm).
- R_{sh} : resistansi paralel (ohm).
- V : tegangan luaran PV (volt).
- n : adalah faktor kualitas dioda yang bernilai antara 1 dan 2

Pada aplikasinya PV sering dipasang secara seri maupun paralel. Pemasangan seri dan paralel bertujuan untuk menentukan besar tegangan dan arus PV guna mendapatkan daya yang diinginkan. Ilustrasi rangkaian seri-paralel antara delapan buah PV ditampilkan oleh Gambar 2.5, sedangkan kurva I-V ditampilkan oleh Gambar 2.6.



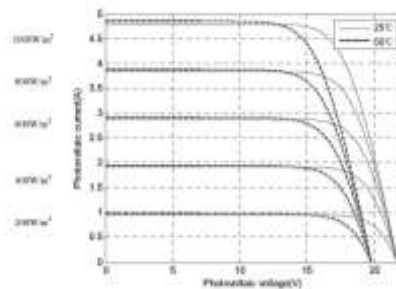
Gambar 2.5 Pemasangan Seri dan Paralel PV

Berdasarkan kurva I-V pada Gambar 2.6, maka dapat diketahui bahwa pemasangan seri pada PV dapat meningkatkan besar tegangan, sedangkan pemasangan paralel dapat meningkatkan besar arus.

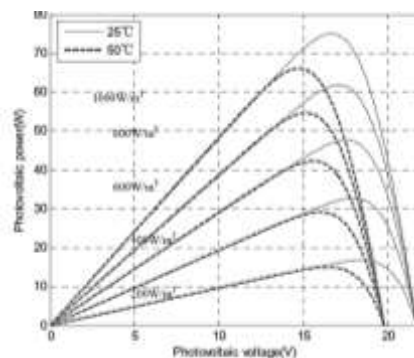


Gambar 2.6 Kurva karakteristik (I-V)

Karakteristik besar daya yang dikeluarkan oleh PV bergantung pada besarnya intensitas cahaya yang mengenai permukaan PV dan temperatur pada permukaan PV. Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 menunjukkan pengaruh besar intensitas cahaya matahari dan temperatur terhadap daya luaran PV.



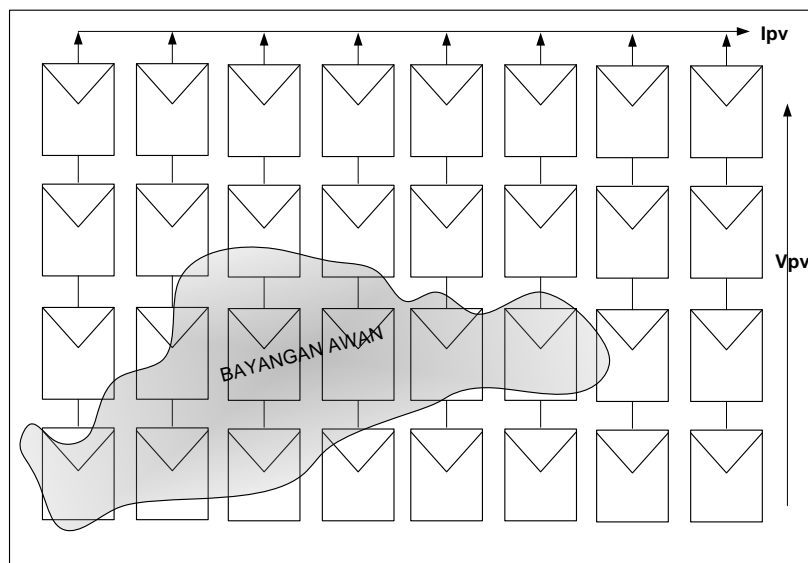
Gambar 2.7 Kurva karaktersistik I-V, dengan Pengaruh Temperatur dan Radiasi



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik P-V, dengan Pengaruh Temperatur dan Radiasi

2.2.2 Shadding pada PV Farm

Sebuah PV Farm yang luas akan memiliki peluang besar untuk tertutup oleh bayangan awan sebagian areanya seperti diilustrasikan pada gambar 2.9. Fenomena tertutupnya area dari PV farm ini disebut dengan *Shadding*. Akibat pengaruh *Shadding* yang mengenai sebagian area PV Farm ini, maka akan mengurangi daya total keluaran dari PV farm.

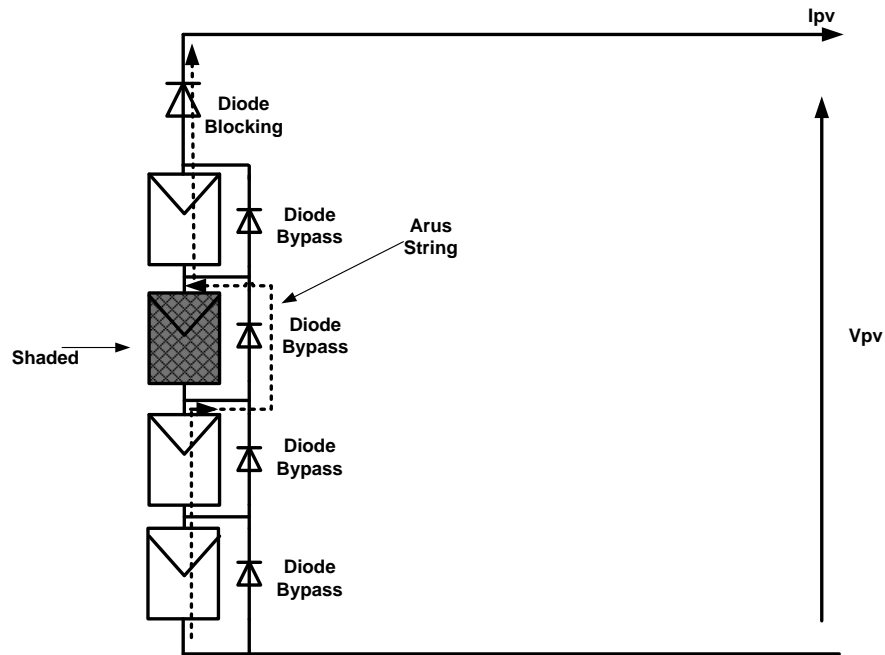


Gambar 2.9 PV Farm yang Tertutup Bayangan Awan yang Melintas

Akibat pengaruh *shadding* yang mengenai sebagian modul PV farm maka *reverse bias diode* akan menyimpan resistansi tinggi mengakibatkan penyerapan energi berupa panas, hal ini mengurangi besar arus ke beban. *Reverse bias diode* terjadi ketika salah satu dari modul PV tertutup bayangan. Dengan asumsi tegangan memiliki polaritas negatif pada level tinggi maka dioda kemungkinan akan mengalami kerusakan akibat panas yang berlebih sehingga perlu dipasang *bypass diode* untuk mengamankan PV dari terbakar seperti ditunjukkan pada gambar 2.10.

Pemasangan *Blocking diode* juga untuk memastikan bahwa arus akan selalu keluar dari string menuju kabel bus. Karena jika terjadi *shading*, tegangan pada string akan lebih rendah dibanding dengan string lain, sehingga string lain akan menganggap string yang terkena shading adalah beban yang menyebabkan

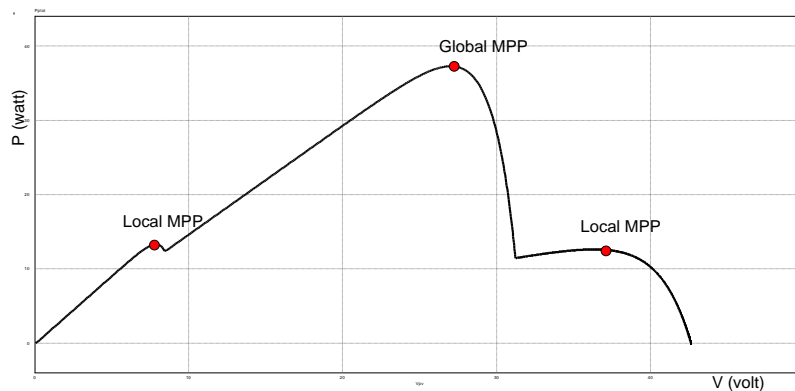
kerusakan pada string yang terkena *shading* dikarenakan menerima arus berlebihan dan *reverse bias diode* yang memiliki resistansi tinggi akan mengonversi arus yang lewat menjadi panas berlebihan dan modul pada string tersebut bisa terbakar dan rusak.



Gambar 2.10 Efek *Diode Bypass* pada Modul Shaded

Pada gambar 2.10 terlihat ilustrasi salah satu modul terkena bayangan sehingga arus akan cenderung melewati *bypass diode*. Arus mengalir melalui *bypass diode* dikarenakan *reverse bias diode* internal dari modul PV memiliki resistansi yang sangat besar. Dengan demikian maka tegangan modul yang terkena bayangan tidak akan terbaca, menyebabkan tegangan pada string akan berkurang.

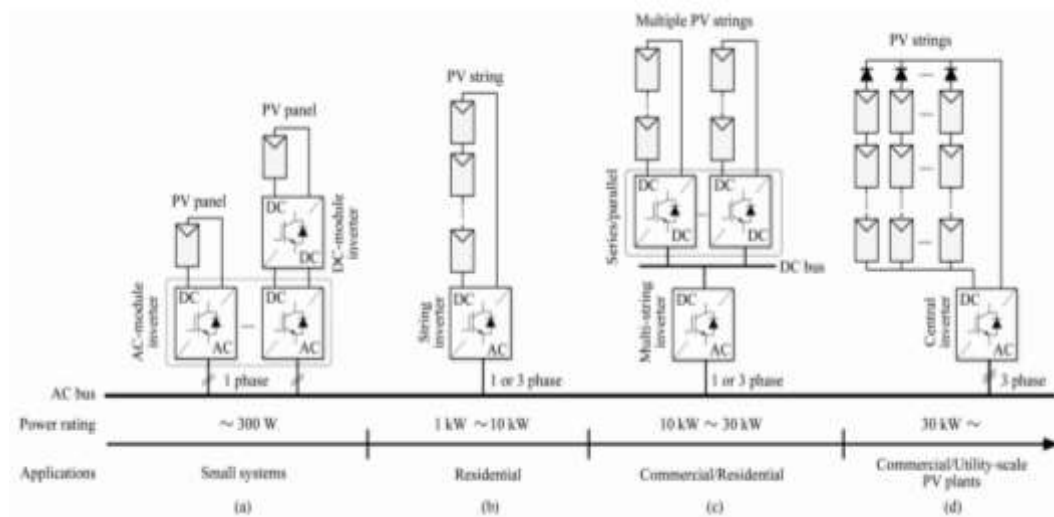
Gambar 2.11 adalah kurva karakteristik PV *farm* yang tertutup bayangan sebagian. Dalam PV *farm* yang terdiri dari banyak string, jika terjadi fenomena *shaded* maka akan muncul beberapa level tegangan yang berbeda dalam PV *farm*. Dalam arti yang sama akan muncul beberapa titik puncak daya yang disebut *Maximum Power Point* (MPP). Banyaknya MPP dan besarnya MPP tergantung dari topologi PV *farm* dan seberapa besar efek *shading* terjadi.



Gambar 2.11 Kurva Karakteristik P-V dengan Beberapa Puncak Daya

2.2.3 Topologi Konverter pada PV Farm

Pemanfaatan energi listrik menggunakan PV *farm* semakin hari semakin berkembang secara pesat. Sehingga dalam aplikasinya juga memiliki metode-metode yang bervariasi. Beberapa penelitian yang dikembangkan melalui rekayasa topologi PV *farm* dalam rangka optimasi daya keluaran seperti pada pembahasan berikut ini [14].



Gambar 2.12 Topologi PV Farm : (a) Single Inverter (b) String Inverter (c) Multi String Inverter (d) Central Inverter

Topologi konverter pada sistem PV *farm* terbagi menjadi beberapa jenis, yang dibagi berdasarkan kegunaan dan rating daya yang dibangkitkan. Gambar

2.12 menunjukkan beberapa topologi konverter dengan berbagai macam kombinasi konverter. Topologi *single inverter* biasanya digunakan untuk sistem PV dengan rating daya kecil, diantara 300 watt sampai dengan 1000 watt, penggunaan DC-DC konverter merupakan opsional. Adakalanya sistem *single inverter* bekerja *stand-alone* hanya untuk kebutuhan rumah tangga.

Untuk PV *farm* dengan daya diantara 1kW sampai dengan 10kW yang biasanya digunakan untuk sistem perumahan, seringkali menggunakan topologi *string inverter*. Penggunaan DC-DC konverter juga opsional dan tidak selalu ada. Untuk topologi *string inverter*, output dari string inverter bisa berupa tegangan AC satu fasa ataupun tiga fasa. Untuk PV *farm* dengan peruntukan komersil dengan rating diantara 1kW sampai dengan 30kW, menggunakan topologi *multi string inverter*. Diperlukan DC-DC konverter sebagai sistem MPPT dan atau sistem penyetabil tegangan untuk DC bus. Sistem *multi string inverter* digunakan untuk interkoneksi dengan grid satu fasa atau tiga fasa.

Untuk PV *farm* yang tekoneksi dengan skala besar biasanya menggunakan topologi *Central Inverter*, yang langsung terkoneksi dengan grid 3 fasa. *Central Inverter* digunakan untuk PV *farm* dengan kapasitas diatas 30kWp. Sistem *Central Inverter* akan memerlukan kabel untuk arus DC yang besar, namun demikian topologi *Central Inverter* relatif lebih memiliki efisiensi tinggi dan murah dalam biaya investasinya.

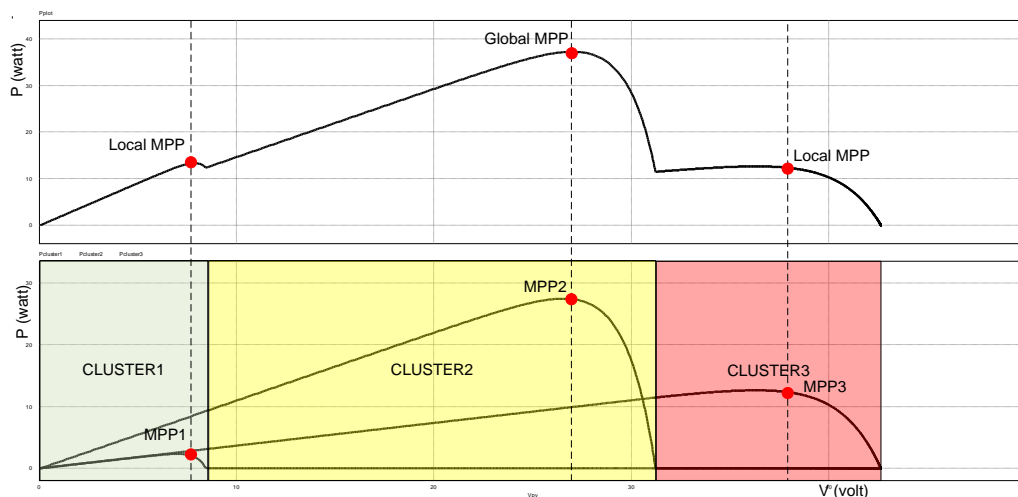
2.3 Smart Cluster Berbasis Tegangan String

Smart Cluster berbasis tegangan string merupakan inovasi baru dalam pemanenan daya pada sistem PV *farm*. Metode ini sedang dikembangkan sebagai pendekatan baru untuk mengekstrak daya keluaran dari PV *farm* menjadi lebih efisien. Terlebih jika berbicara pada PV *farm* skala besar yang peluang terjadinya efek tertutup bayangan sebagian karena faktor cuaca dan awan juga sangat tinggi [3].

Metode ini dikembangkan berdasarkan kurva karakteristik P-V pada PV *farm* dengan single konverter jika salah satu atau beberapa modul *photovoltaic*

dalam satu sistem tertutup bayangan. Kejadian ini menyebabkan efek *photocurrent* pada modul tersebut lebih kecil dibandingkan modul dalam string sehingga ter-bypass oleh *bypass diode* sebagai bentuk proteksi.

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.2.2 dan gambar 2.9, peluang sebuah area PV *farm* yang luas untuk tertutup bayangan sebagian areanya sangat besar. Penggunaan *bypass diode* sebagai proteksi untuk modul yang tertutup bayangan akan membawa dampak ketidak seragaman tegangan pada setiap string dalam PV *farm*. Ketidak seragaman tegangan ini akan menyebabkan munculnya kurva karakteristik dengan beberapa titik MPP. Hipotesis yang diajukan adalah pengelompokan ketidakseragaman tegangan string ini menjadi beberapa *Cluster* sesuai dengan level tegangan yang terbentuk [3]. Gambar 2.13 merupakan contoh ilustrasi metode *Cluster* yang diusulkan.

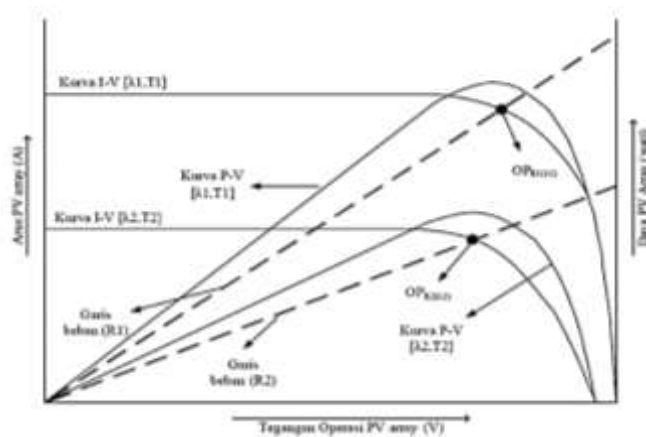


Gambar 2.13 Sistem tanpa *Cluster* dan dengan *Cluster*

Dari gambar 2.13, secara hipotesis pendekatan *Cluster* akan memisahkan sebuah kurva karakteristik PV menjadi beberapa level tegangan string. Pada gambar 2.13 bisa dibandingkan bahwa terdapat perbedaan antara sistem MPPT yang sebelumnya dengan sistem yang akan diusulkan. Jika sistem MPPT sebelumnya mengejar nilai MPP pada saat global optimum, maka pada sistem *Clustering* ini tidak hanya mencari nilai MPP pada saat global optimum saja, namun juga menjumlahkan besarnya daya yang terdapat pada masing-masing titik MPP pada *Cluster*-nya.

2.4 Maximum Power Point Tracker pada PV Farm

Maximum power point tracking atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah metode yang digunakan pada sistem PV untuk menghasilkan daya maksimum. MPPT bukan sistem penelusuran mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul PV menghadap arah posisi matahari, namun MPPT adalah sebuah sistem elektronik yang berisikan algoritma yang mampu menelusuri titik daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh PV. Berdasarkan kurva karakteristik I-V dan P-V dapat diketahui bahwa kerja PV tidak linier dan dinamis sesuai perubahan nilai intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan PV dan temperatur pada permukaan PV.

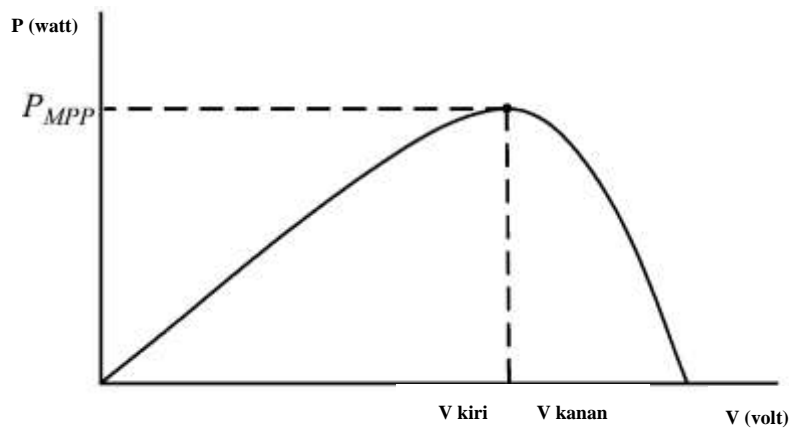


Gambar 2.14 Prinsip kerja MPPT

Pada Gambar 2.14 terdapat 2 buah titik kerja maksimum (MPP) yakni OP_{R1} dan OP_{R2} . Kondisi titik kerja OP_{R1} adalah nilai *Maximum Power Point* (MPP) pada kondisi iradiasi λ_1 dan temperatur T_1 untuk beban R_1 sedangkan OP_{R2} adalah nilai MPP pada kondisi iradiasi λ_2 dan temperatur T_2 untuk beban R_2 . Jika iradiasi berubah dari λ_1 menjadi λ_2 dan temperatur berubah dari T_1 menjadi T_2 maka kurva I-V dan P-V bergeser dari kurva (λ_1, T_1) menuju kurva (λ_2, T_2) . Untuk mencapai kondisi MPP maka beban harus berubah dari R_1 menjadi R_2 sehingga sistem bekerja pada kondisi MPP.

2.4.1 Modified PnO Algorithm

Perturb and Observe (PnO) adalah metode MPPT konvensional. Algoritma PnO bekerja dengan menaikkan dan menurunkan nilai *duty cycle* (D) untuk pencarian terhadap titik maximum daya PV. Terdapat 2 jenis PnO yakni *direct duty cycle (hill climbing)* dan menggunakan *voltage reference*.



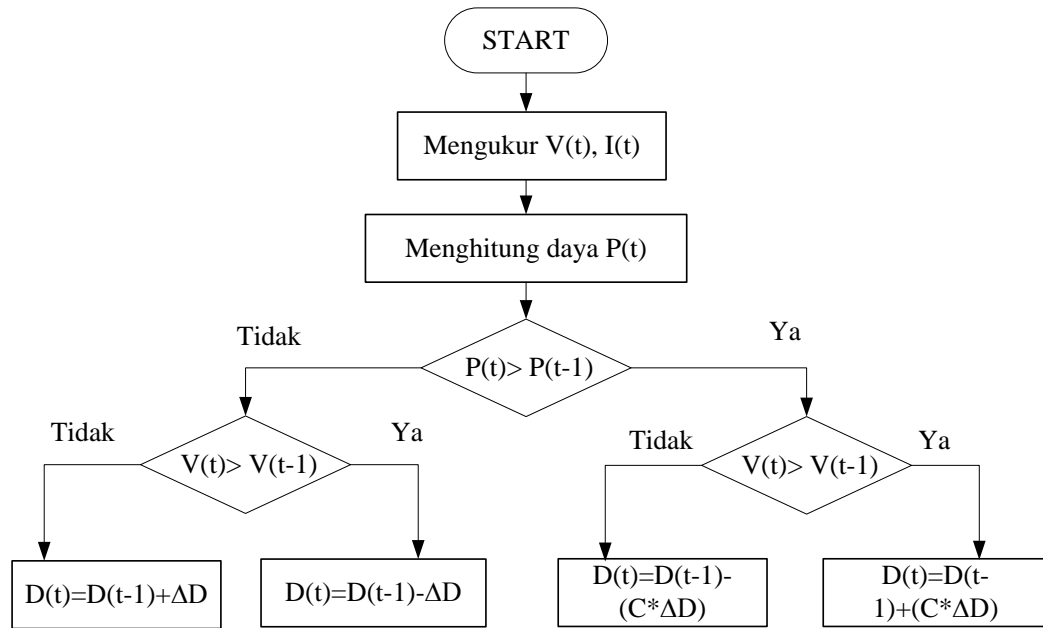
Gambar 2.15 Prinsip kerja MPPT Berbasis P&O

Dari Gambar 2.15 dapat dilihat bahwa titik daya maksimum P_{MPP} membagi wilayah tegangan V menjadi dua area yakni area V kiri dan V kanan. Metode PnO memperoleh nilai P_{MPP} dengan melakukan pergeseran nilai tegangan V kearah kiri dan kanan. Apabila pada saat PnO menggeser tegangan V kearah kanan dan terjadi peningkatan nilai daya maka peturbasi berikutnya harus tetap sama yakni menggeser V kearah kanan untuk mencapai MPP. Namun jika terjadi penurunan daya, perturbasi harus dibalik. Algoritma ini dirangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Prinsip kerja MPPT berbasis PnO

Perturbasi	Perubahan Daya (ΔP_{MPP})	Perturbasi berikutnya
V geser ke kanan	Positif	V geser ke kanan
V geser ke kanan	Negatif	V geser ke kiri
V geser ke kiri	Positif	V geser ke kiri
V geser ke kiri	Negatif	V geser ke kanan

Pada Tabel 2.1 terlihat bahwa algoritma juga bekerja secara berulang-ulang sampai P_{MPP} tercapai. Sistem mengalami osilasi pada daerah disekitar P_{MPP} . penggunaan *Modified* PnO, bertujuan untuk mengurangi osilasi sampai mendekati nol. Adapun Flowchart dari algoritma *Modified* PnO ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Flowchart prinsip kerja MPPT *Modified* P&O

Pada Gambar 2.16 merupakan sebuah *flowchart* prinsip dari algoritma *Modified* PnO untuk MPPT. Masukan dari algoritma *Modified* PnO adalah arus dan tegangan PV. Melalui nilai masukan tegangan $V(t)$ dan arus $I(t)$ diperoleh nilai daya $P(t)$. Pada saat daya PV dan tegangan naik, algoritma ini menaikkan nilai *duty cycle* (ΔD). Nilai *duty cycle* (D) dijumlah dengan selisih nilai ΔD , sehingga menghasilkan nilai titik operasi dan mencapai titik daya maximum, begitu juga dengan arah sebaliknya.

Pada *Modified* PnO, penambahan faktor C dikalikan dengan ΔD untuk mengurangi step langkah *dutycycle* ketika algoritma MPPT berada disekitar titik MPP. pengurangan step *dutycycle* ini berimbas pada pengurangan ripple daya pada saat kondisi *steady state*.

2.4.2 Firefly Algorithm

Kunang-kunang yang berkedip cahayanya merupakan pemandangan yang indah dilangit ketika musim kemarau atau musim panas di daerah subtropis dan daerah tropis. Di dunia ada sekitar dua ribu spesies kunang-kunang dan masing-masing menghasilkan kedipan cahaya yang singkat. Pola kedipan cahaya pada kunang-kunang terlihat unik di masing-masing spesies kunang-kunang yang berbeda. Kedipan cahaya pada kunang-kunang diproduksi oleh proses *bioluminescence*, dan fungsi sebenarnya dari sinyal kedipan kunang-kunang masih diperdebatkan. Meskipun demikian, dua fungsi utama dari kedipan kunang-kunang adalah untuk memikat pasangan kawin sebagai bentuk komunikasi, dan juga untuk menarik mangsa agar mendekat. Sebagai tambahan, ritme dari kedipan kunang-kunang juga berfungsi sebagai mekanisme perlindungan dan peringatan.

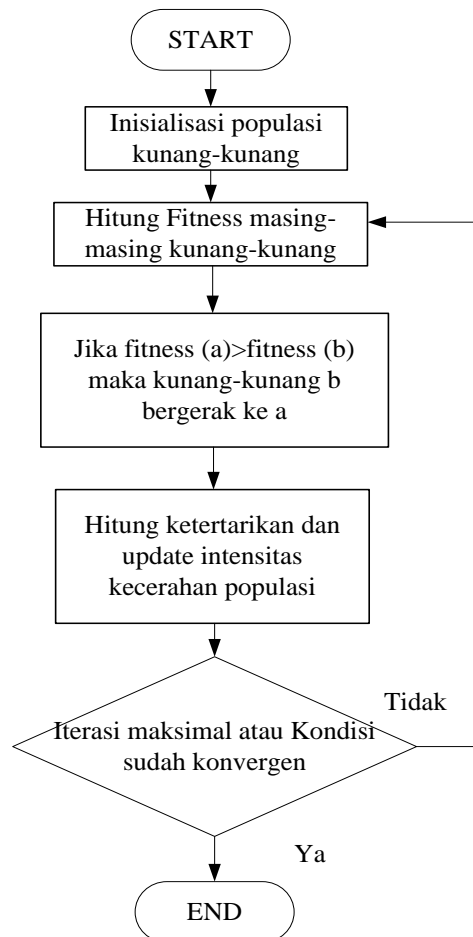
Untuk proses dalam memikat pasangan seksual, kunang kunang menggunakan ritme kedipan yang unik, baik secara periode maupun tingkat kecerahan. Kunang-kunang betina memberi respon kepada kunang-kunang jantan yang memiliki pola kedipan yang unik.

Dalam kedipan cahaya kunang-kunang dapat diformulasikan dan diasosiasikan dengan fungsi obyektif yang dioptimasi, sehingga sangat memungkinkan untuk membuat algoritma optimasi yang baru berdasarkan pola tingkah laku kunang-kunang. [15]

Untuk mempermudah permodelan dari algoritma kunang-kunang (*Firefly Algorithm* -FA), dibuatlah aturan ideal sebagai berikut [15] :

1. Semua kunang-kunang dalam satu populasi dianggap uniseksual, sehingga semua kunang-kunang dianggap saling tertarik tanpa memperhatikan jenis kelamin.
2. Ketertarikan antar individu kunang-kunang proporsional dengan tingkat kecerahan individu kunang-kunang tersebut, apabila ada dua individu kunang-kunang, kunang-kunang yang kurang bercahaya akan bergerak mendekati kunang-kunang yang lebih bercahaya. Namun untuk kunang-kunang yang paling bercahaya, individu ini akan bergerak secara acak.
3. Tingkat kecerahan cahaya dari kunang-kunang dan posisi kunang-kunang merupakan fungsi obyektif dari persoalan optimasi.

Dalam *Firefly Algorithm*, terdapat dua hal penting yaitu variasi dari intensitas cahaya, dan formulasi ketertarikan. Secara sederhana proses optimasi dalam *Firefly Algorithm* dapat dilihat dalam flowchart gambar 2.17.



Gambar 2.17 Flowchart *Firefly Algorithm*

Untuk aplikasi dalam *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) *Photovoltaic*, jumlah populasi dari kunang-kunang adalah representasi dari jumlah *dutycycle* yang digunakan untuk mencari daya maksimal. Kemudian tingkat kecerahan dari kunang-kunang serta posisinya adalah representasi dari fungsi obyektif pencarian daya puncak pada titik *Global MPP*. Pergerakan kunang-kunang menunjukkan pergerakan *dutycycle* menuju satu kunang-kunang tercerah sebagai *dutycycle* yang membuat konverter memberikan respon daya tertinggi.

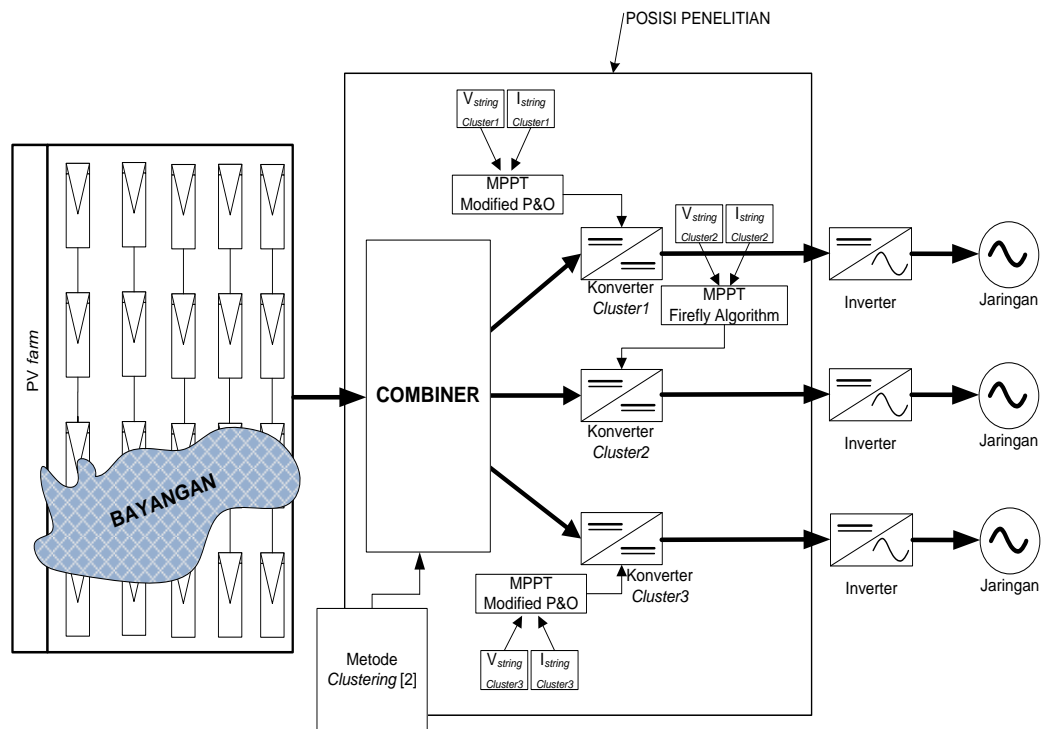
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Konfigurasi Sistem

Konfigurasi sistem yang diusulkan dalam penelitian ini adalah sebagaimana terlihat pada gambar 3.1. Sementara fokus penelitian adalah pada perencanaan sistem MPPT dengan pendekatan baru menggunakan kombinasi dari topologi yang dibentuk oleh metode *Cluster* dengan algoritma Modified PnO untuk *Cluster* yang *uniform* (*Cluster 1* dan *Cluster 2*) dan algoritma *Firefly* untuk *Cluster* yang memiliki beberapa titik MPP (*Cluster 3*).



Gambar 3.1 Konfigurasi Sistem MPPT Baru Berbasis *Cluster*

Pada gambar 3.1 Konfigurasi Sistem MPPT Baru Berbasis *Cluster*, dapat dilihat bahwa sistem PV Farm dimodelkan sebagai sebuah miniatur PV array yang terdiri kombinasi seri dan paralel 20 buah modul PV 3 watt peak. PV array ini terbentuk dari lima buah string, dimana masing-masing string terdiri dari empat buah modul PV 3 watt peak. Untuk metode *Clustering* yang digunakan

mengacu pada referensi [3] yang disederhanakan untuk mempermudah proses pengelompokan *Cluster* berdasarkan pembacaan tegangan string. Penjelasan sistem *Cluster* akan dibahas di sub-bab 3.4.1.

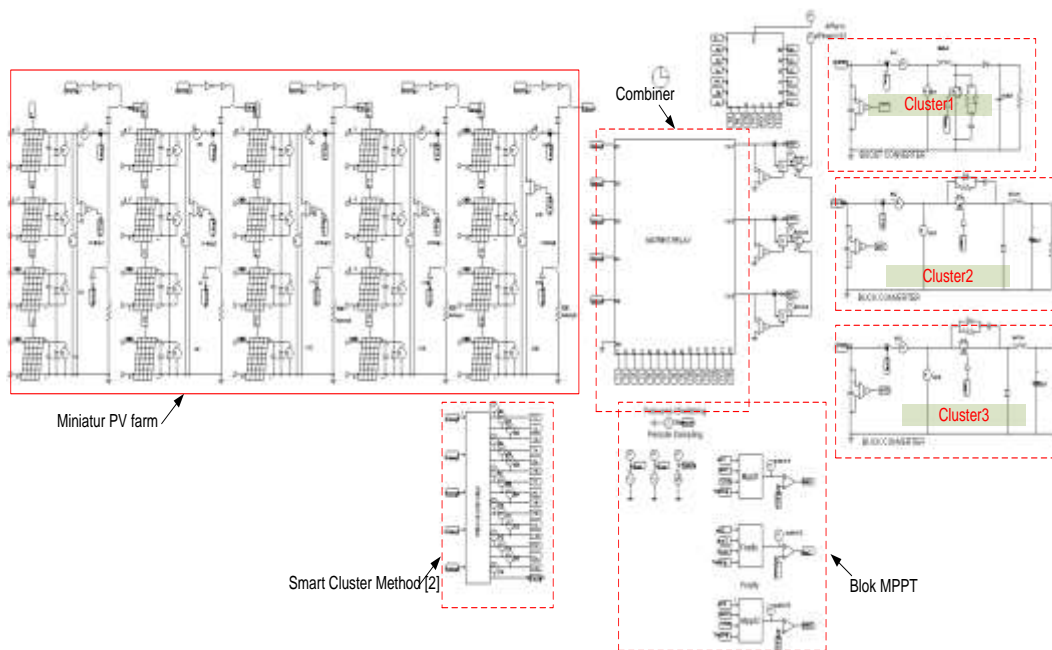
Sebuah *Combiner* digunakan sebagai aktuator dari metode *Clustering* untuk menentukan pengelompokan level tegangan string yang masuk pada 3 buah topologi konverter. *Combiner* ini terdiri dari matriks relay yang bekerja sebagai saklar magnetis yang akan memisahkan dan menentukan setiap kelompok dengan tegangan yang sama dalam satu buah topologi konverter DC-DC.

Tiga buah konverter DC-DC yang tertanam algoritma MPPT digunakan untuk menjejak daya puncak dimasing-masing konverter. Pada *Cluster 1* menggunakan *Boost Converter*, sementara pada *Cluster 2* dan *Cluster 3* menggunakan *Buck Converter*.

Dua buah algoritma MPPT ditanamkan kedalam mikrokontroller untuk melakukan proses penjejakan daya puncak pada masing-masing *Cluster*. Pemilihan Modified PnO yang sudah banyak terbukti sangat handal untuk menjejak daya puncak pada kurva karakteristik PV yang *uniform* sebagai algoritma untuk *Cluster 1* dan *Cluster 3* adalah karena pada *Cluster* tersebut memiliki level tegangan yang seragam, sehingga hanya akan muncul satu nilai puncak daya (MPP) yang sekaligus sebagai *Global MPP* pada *Cluster* tersebut. Adapun pemilihan algoritma *Firefly* sebagai metode metaheuristik untuk MPPT pada *Cluster 2* adalah dikarenakan pada *Cluster* ini masih memungkinkan dua buah level tegangan modul masuk kedalam konverter. Kemungkinan ini akan membawa kemungkinan munculnya dua buah nilai lokal puncak daya (*Local MPP*) yang salah satunya akan menjadi nilai *Global MPP*. Algoritma Modified PnO biasanya akan terjebak pada salah satu Local MPPT tersebut, yang menyebabkan pemanenan daya pada PV *farm* menjadi kurang efisien. Oleh karena itu Algoritma *Firefly* digunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut yang diharapkan Algoritma *Firefly* akan selalu mencapai nilai *Global MPP*-nya.

3.2 Perencanaan Simulator

Perencanaan simulator sebagai salah satu metode verifikasi pengujian berdasarkan simulasi menggunakan software simulasi. Simulator ini dibuat dengan tujuan sebagai pembuktian awal bahwa metode yang diusulkan bisa bekerja dengan baik dalam variabel kondisi yang relatif terkendali dan ideal. Rangkaian simulasi sistem yang dibangun pada software simulasi, dibuat semirip mungkin dengan parameter semua komponen yang digunakan pada bab 3.2. Perencanaan Hardware. Gambar 3.2 adalah gambar rangkaian simulasi yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Konfigurasi Simulasi

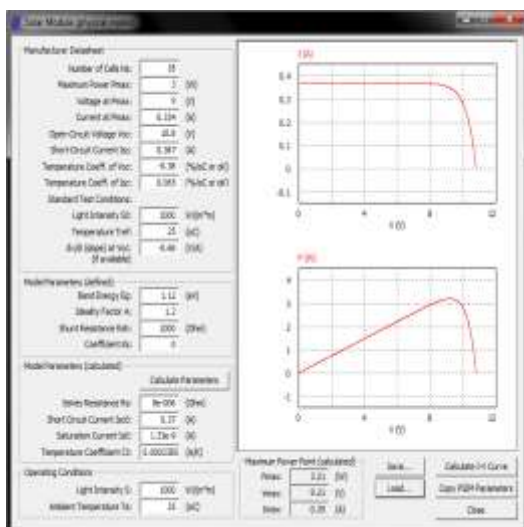
Disini digunakan 4 buah Blok *simplified C*, satu blok digunakan untuk algoritma *Smart Cluster* dan 3 blok digunakan untuk algoritma MPPT. Masing-masing blok ini mewakili 4 buah kontroller yang akan digunakan pada tahap implementasi prototipe. Pada Blok *Smart Cluster* terdapat 5 buah input yang mewakili 5 buah sensor tegangan pada 5 buah string PV array, dan memiliki 16 output yang 15 outputnya digunakan untuk mengendalikan *Combiner* dan 1 outputnya digunakan untuk mengendalikan blok sensing tegangan string. Tiga buah blok *Simplified C* berikutnya mempunyai masing-masing memiliki 2 buah input berupa sensor tegangan dan sensor arus pada setiap *Cluster* sebagai variabel

masukan untuk Algoritma MPPT, dan blok ini memiliki sebuah output sebagai sinyal modulasi PWM setelah pengolahan menggunakan algoritma MPPT dilakukan.

Sebuah *Combiner* berupa Matriks *Switch* memiliki 5 buah input yang mewakili jumlah string pada PV array, dan 3 buah output yang menjadi masukan untuk 3 buah *Cluster*. Sinyal instruksi dikirimkan oleh 15 buah kanal yang diperoleh dari pengolahan tegangan string oleh blok *Smart Cluster*.

Topologi konverter yang digunakan untuk ketiga *Cluster* adalah 2 buah konverter *Buck* untuk *Cluster 2* dan *Cluster 3* serta sebuah konverter *Boost* untuk digunakan pada *Cluster 1*. Semua parameter pada konverter dan *Boost* akan dibahas lebih rinci pada sub-bab 3.3.

Dalam perencanaan sistem miniatur PV *Farm* ini, menggunakan PV 3 WP sebagai penyusun PV array. Dengan kombinasi rangkaian yang sama dengan perencanaan hardware, yaitu 5 buah string dengan masing-masing string terdiri dari 4 buah modul PV. Modul 3 WP ini memiliki karakteristik fisik yang bisa disesuaikan dengan modul sesungguhnya yang dipakai serta karakteristik output yang bisa dikomparasi dengan data yang dihimpun dari pengujian *photovoltaic* sebelumnya. Gambar 3.3. adalah parameter PV 3 WP yang digunakan sebagai modul dalam PV array.



(a)



(b)

Gambar 3.3 Parameter Karakteristik Modul 3 WP : (a) Simulasi Software (b) Perangkat Sebenarnya

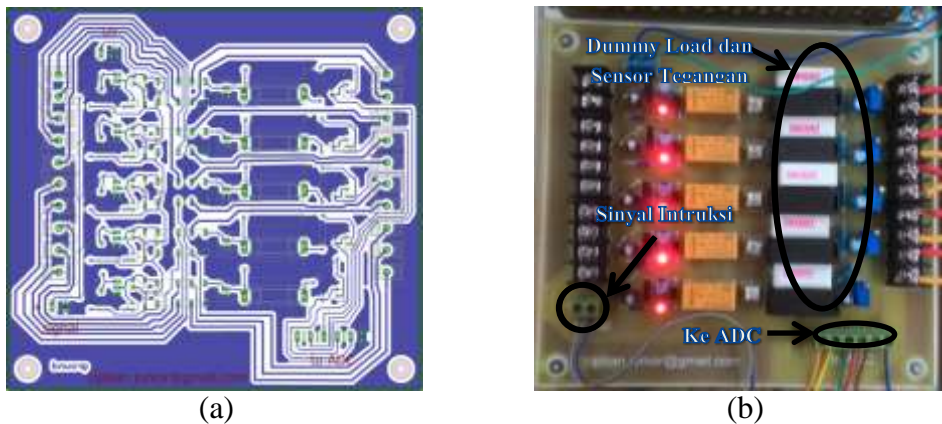
3.3 Perencanaan *Hardware*

Pembuatan perangkat keras dari sistem ini meliputi pembuatan rangkaian sensor tegangan dengan *Dummy Load*, *Combiner* berupa matriks relay, rangkaian konverter *Boost* untuk *Cluster 1*, rangkaian konverter *Buck* untuk *Cluster 2* dan *Cluster 3*, serta rangkaian-rangkaian pendukung berupa sensor-sensor, driver mosfet dan *interface* untuk mikro ontroller.

3.3.1 Sensor Tegangan dan *Dummy Load*

Sensor tegangan dengan *dummy load* merupakan rangkaian yang utama dalam proses *Clustering PV Farm*. Penggunaan *dummy load* dalam proses sensing tegangan pada string adalah untuk memastikan arus listrik tetap mengalir dalam rangkaian tertutup sehingga *bypass diode* bisa bekerja ketika salah satu modul mengalami *shaded*.

Sensor tegangan bekerja berdasarkan kinerja pembagi tegangan, sementara besarnya dummy load idealnya adalah sebesar nilai resistansi dimana arus pada rating (I_{mpp}) dan tegangan pada rating (V_{mpp}). Pada sensor tegangan terdapat sinyal masukan dari mikrokontroller untuk mengatur waktu penjejakan *Cluster* dilakukan. Durasi dalam pengukuran tegangan pada *string* bisa sangat singkat, dalam simulasi dibuat 100ms, namun dalam implementasi dibuat selama 5s untuk bisa melihat respon visualnya. Gambar 3.4 adalah gambar board sensor tegangan dengan *dummy load*. Gambar 3.4 (a) adalah gambar layout PCB dan Gambar 3.4 (b) adalah gambar hardware dari sensor tegangan dengan *Dummy Load*.

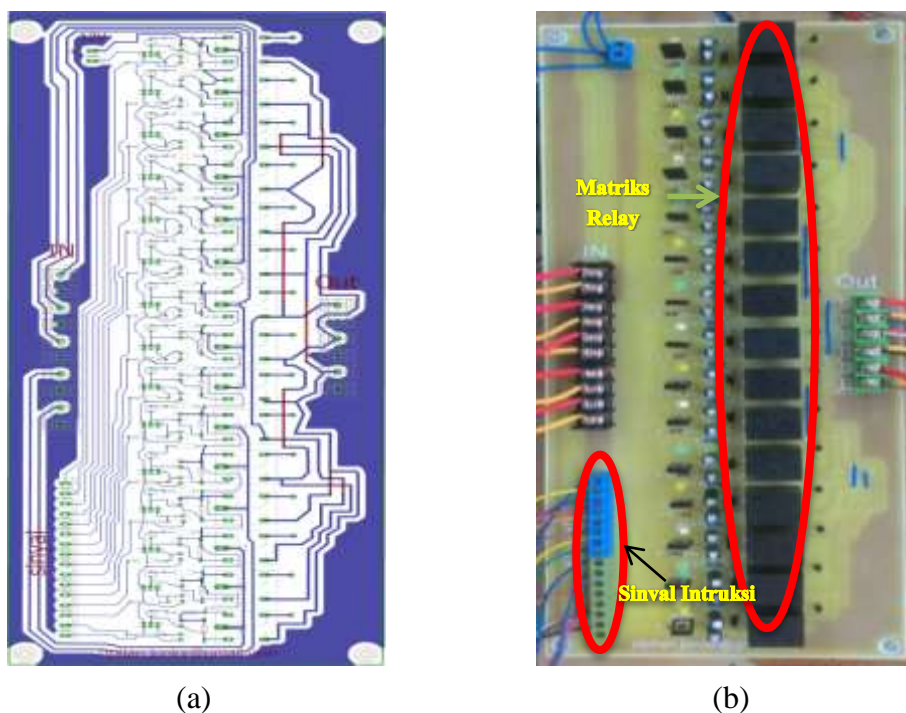


Gambar 3.4 Sensor Tegangan dan *Dummy Load*

Pada gambar 3.4 (b) memperlihatkan bahwa sensing sedang bekerja dengan indikator LED merah menyala. Terdapat port untuk sinyal intruksi dari mikrokontroller dan port untuk sinyal output menuju ADC mikrokontroller. Blok sensor tegangan dan *dummy load* dilingkari menjadi satu.

3.3.2 Combiner

Rangkaian *Combiner* adalah rangkaian pengombinasi output dari masing-masing string menuju 3 buah *Cluster*. Rangkaian *Combiner* merupakan matriks relay sebagai saklar magnetis yang mendapat sinyal instruksi dari mikrokontroller setelah memproses algoritma *Smart Cluster* dari pembacaan tegangan string. Gambar 3.5 adalah rangkaian *Combiner* yang digunakan sebagai prototipe penelitian ini.



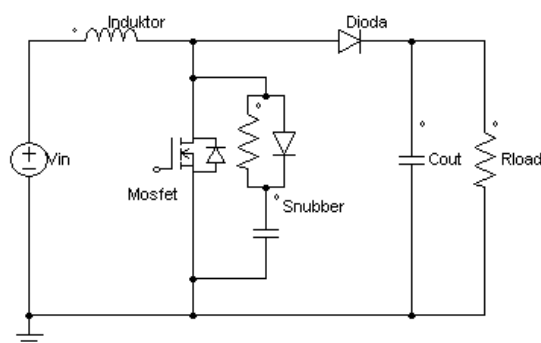
Gambar 3.5 Rangkaian *Combiner*

Pada rangkaian *Combiner* pada gambar 3.5 (a) adalah gambar layout PCB, sedangkan gambar 3.5 (b) adalah gambar *hardware* untuk rangkaian *Combiner* yang sudah dirangkai. Pada rangkaian ini terdapat sinyal intruksi dari mikrokontroller dan terdapat matriks relay berwarna hitam yang dilingkari.

3.3.3 DC-DC Boost Konverter (*Cluster 1*)

Cluster 1 pada penelitian ini memiliki range kerja mulai dari 0 volt sampai dengan tegangan MPP 1 modul PV yaitu sebesar 9 volt. Jika terjadi kejadian PV *farm* tertutup bayangan pada stringnya menghasilkan nilai dibawah nilai 9 volt, maka string tersebut akan masuk dalam pengelompokan pada *Cluster1*.

Konverter *Boost* merupakan salah satu dari *DC-DC converter* yang mempunyai fungsi untuk menaikkan tegangan masukan dari PV *Farm*. Sebenarnya dalam penelitian ini Konverter *Boost* hanya digunakan sebagai konverter untuk diintegrasikan dengan algoritma MPPT, sehingga respon transformasi dari konverter ini tidak terlalu dibahas terlalu dalam. Meskipun demikian parameter tegangan output dari konverter ini diset pada 25 volt, dengan harapan bisa menjadi *batteri charger* untuk elemen kering sebesar 24 volt. Parameter yang digunakan untuk konverter *Boost* bisa dilihat pada tabel 3.1. Untuk nilai dari P_{max} adalah sebesar nilai total maksimal peluang semua modul disemua string menjadi anggota dari *Cluster 1*, sehingga besarnya P_{max} adalah hasil dari 5 buah string dikalikan dengan 1 modul disetiap string dikalikan faktor pengali 1.5 menjadi 22.5 watt. Kemudian untuk besarnya V_{in} adalah dalam range kerja *Cluster 1*, namun secara ideal range kerjanya diduga adalah V_{mpp} dikurangi 50% dari V_{mpp} sebuah modul (9 volt) sampai dengan tegangan V_{mpp} -nya. Sehingga parameter Konverter Boost menggunakan parameter maksimal V_{mpp} dikurangi 50%. Untuk frekuensi switching yang digunakan adalah sebesar 31250 Hz, berdasarkan besarnya frekuensi clock mikrokontroller arduino uno. Gambar 3.6 adalah gambar topologi Konverter *Boost*.



Gambar 3.6 Rangkaian Konverter *Boost*

Dari gambar 3.6 terdapat beberapa komponen yang perlu untuk dicari nilainya dan ratingnya untuk desain lebih lanjut. Desain Konverter *Boost* ini mengacu dengan parameter pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Konverter *Boost* untuk *Cluster 1*

No	Parameter	Value
1	P_{\max}	22,5 watt
2	V_{in}	4,5 volt
3	V_{out}	25 volt
4	I_{in}	5 ampere
5	Dutycycle	82%
6	Frekuensi Switching	31250 Hz
7	B_{\max}	0,25 tesla
8	PQ3535 A_c	1,96 cm ²

Untuk perhitungan manual nilai parameter-parameter yang berkaitan [16], yaitu:

a. *Duty Cycle*

$$Duty = 1 - \frac{V_{\text{in_min}}}{V_{\text{out}}} \quad (3.1)$$

$$Duty = 1 - \frac{4,5}{25}$$

$$Duty = 1 - 0,18$$

$$Duty = 0,82$$

b. Arus Output

$$I_{\text{in}} = I_{\text{out}} \times \left[\frac{V_{\text{out}} + V_F}{V_{\text{in}}} \right] \quad (3.2)$$

$$I_{\text{out}} = I_{\text{in}} : \left[\frac{V_{\text{out}} + V_F}{V_{\text{in}}} \right] \quad (3.3)$$

$$I_{\text{out}} = 5 : \left[\frac{25 + 0,7}{4,5} \right]$$

$$I_{\text{out}} = 5 : 5,71$$

$$I_{\text{out}} = 0,875 \text{ ampere}$$

c. Ripple Arus (10%)

$$\Delta I_L = 0,1 \times I_{\text{out}} \times \left[\frac{V_{\text{out}} + V_F}{V_{\text{in_min}}} \right] \quad (3.4)$$

$$\Delta I_L = 0,1 \times 0,875 \times \left[\frac{25 + 0,7}{4,5} \right]$$

$$\Delta I_L = 0,1 \times 0,875 \times 5,711$$

$$\Delta I_L = 0,499 \text{ ampere}$$

d. Nilai Induktor

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_{out} + V_F - V_{in_min}] \times \left(\frac{V_{in_min}}{V_{out} + V_F} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (3.5)$$

$$L = \left(\frac{1}{31250} \right) \times [25 + 0,7 - 4,5] \times \left(\frac{4,5}{25 + 0,7} \right) \times \left(\frac{1}{0,499} \right)$$

$$L = 3,2 \cdot 10^{-5} \times 21,2 \times (0,175) \times \left(\frac{1}{0,499} \right)$$

$$L = 2,379 \cdot 10^{-4} \text{ Henry} = 237,9 \mu\text{Henry}$$

e. Nilai Arus Maksimum Induktor

$$I_{Lmaks} = I_{in} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (3.6)$$

$$I_{Lmaks} = 5 + \frac{0,499}{2}$$

$$I_{Lmaks} = 5,249 \text{ ampere}$$

f. Banyak kumparan induktor

$$n = \frac{L \cdot I_{Lmax}}{B_{max} \cdot A_c} 10^4 \quad (3.7)$$

$$n = \frac{2,379 \cdot 10^{-4} \cdot 5,249}{0,25 \cdot 1,96} 10^4$$

$$n = 25,48 \text{ lili tan}$$

g. Ukuran kawat dari Arus efektif induktor

$$i_{L-rms} = \sqrt{i_{Lmax}^2 + \left(\frac{\Delta i_L / 2}{\sqrt{3}} \right)^2} \quad (3.8)$$

$$i_{L-rms} = \sqrt{5,249^2 + \left(\frac{0,499 / 2}{\sqrt{3}} \right)^2}$$

$$i_{L-rms} = 5,251 \text{ ampere}$$

h. Dengan split 3 buah kawat, maka didapat arus setelah split adalah $(5,251/3) = 1,75$ ampere. Sehingga digunakan kawat 0,72mm tabel AWG)

i. Perhitungan Rating Penggunaan Dioda Utama

$$I_{Dpeak} = \frac{I_0}{Duty\ cycle} \quad (3.9)$$

$$I_{Dpeak} = \frac{0,9}{0,82}$$

$$I_{Dpeak} = 1,097 \text{ ampere}$$

$$I_{Drms} = I_{Dpeak} \times \sqrt{\text{Dutycycle}}$$

$$I_{Drms} = 1,097 \times \sqrt{0,82}$$

$$I_{Drms} = 0,994 \text{ ampere}$$

j. Perhitungan Penggunaan Kapasitor

$$I_{Crms} = \sqrt{I_{Drms}^2 - I_0^2} \quad (3.10)$$

$$I_{Crms} = \sqrt{0,994^2 - 0,9^2}$$

$$I_{Crms} = 0,422 \text{ ampere}$$

Nilai kapasitor

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_{Crms} \cdot D \cdot T}{C}$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_0} = \frac{I_{Crms} \cdot D \cdot T}{\Delta V_0}, \Delta V_0 = 0,001 \times 25 \text{ volt}$$

$$C = \frac{0,422 \cdot 0,82 \cdot (1 / 31250)}{0,025}$$

$$C = 0,000442584 F = 442,584 \mu F$$

k. Perhitungan Rangkaian Snubber

$$I_{on} = I_i = I_o \times \frac{V_o}{V_i} \quad (3.11)$$

$$I_{on} = 0,9 \times \frac{25}{4,5}$$

$$I_{on} = 5 \text{ ampere}$$

$$V_{off} = V_{out} = 25 \text{ volt}$$

Kapasitor Snubber

$$C_{snubber} \approx \frac{I_{on} \times t_{fall}}{2 \times V_{off}} \quad (3.12)$$

$$C_{snubber} \approx \frac{5 \times 43 \cdot 10^{-9}}{2 \times 25}$$

$$C_{snubber} \approx 43 \text{ nF}$$

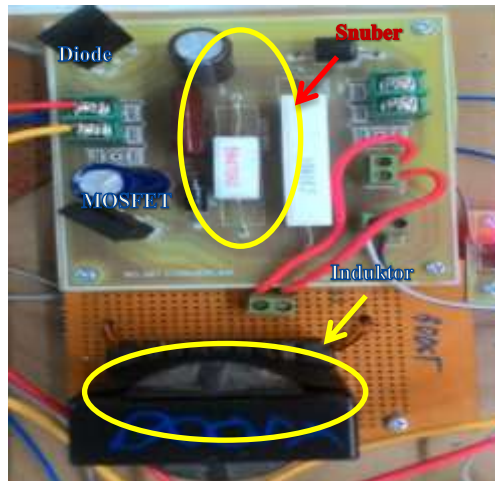
Resistansi Snubber

$$R_{snubber} < \frac{DT}{2 \times C_{snubber}} \quad (3.13)$$

$$R_{snubber} < \frac{0,82 \times (1 / 31250)}{2 \times 43 \cdot 10^{-10}}$$

$$R_{snubber} < 3051,628 \text{ ohm}$$

Setelah perhitungan manual dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan rangkaian Konverter *Boost*. Rangkaian konverter Boost ditunjukkan pada gambar 3.7. Pengujian dan analisis untuk rangkaian Konverter *Boost* ini dibahas lebih lanjut pada bab 4.



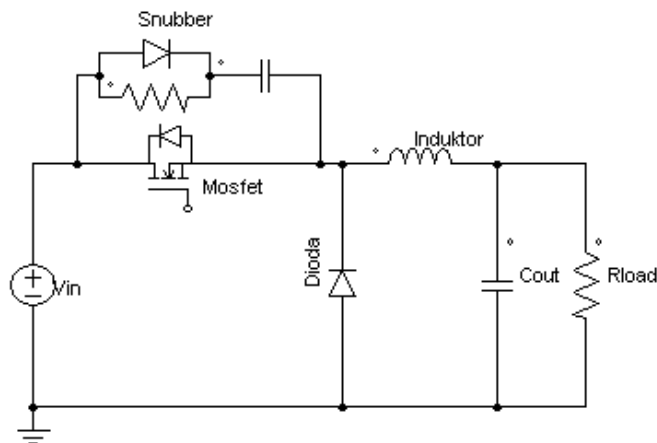
Gambar 3.7 Rangkaian Konverter *Boost* untuk *Cluster 1*

3.3.4 DC-DC *Buck* Konverter (*Cluster 2*)

Cluster 2 pada penelitian ini memiliki range kerja mulai dari 9 volt sampai dengan tegangan MPP 3 modul PV yaitu sebesar 27 volt. Jika terjadi kejadian PV *farm* tertutup bayangan pada stringnya menghasilkan nilai diantara 9 sampai dengan 27 volt, maka string tersebut akan masuk dalam pengelompokan pada *Cluster 2*.

Konverter *Buck* merupakan salah satu dari *DC-DC converter* yang mempunyai fungsi untuk menurunkan tegangan masukan dari PV *Farm*. Sama dengan konverter pada *Cluster 1*, dalam penelitian ini Konverter *Buck* hanya digunakan sebagai konverter untuk diintegrasikan dengan algoritma MPPT, sehingga respon transformasi dari konverter ini tidak terlalu dibahas terlalu dalam. Meskipun demikian parameter tegangan output dari konverter ini diset pada 25 volt, dengan harapan bisa menjadi *battery charger* untuk elemen kering sebesar 24 volt. Parameter yang digunakan untuk konverter *Buck* bisa dilihat pada tabel 3.2. Untuk nilai dari P_{max} adalah sebesar nilai total maksimal peluang semua modul disemua string menjadi anggota dari *Cluster 2*, sehingga besarnya P_{max}

adalah hasil dari 5 buah string dikalikan dengan 3 modul disetiap string dikalikan faktor pengali 1.5 menjadi watt. Kemudian untuk besarnya V_{in} adalah dalam range kerja *Cluster 2*. Sehingga parameter Konverter Boost menggunakan parameter maksimal V_{mpp} dikurangi 50%. Untuk frekuensi switching yang digunakan adalah sama dengan konverter *Boost*. Gambar 3.8 adalah gambar topologi Konverter *Buck* yang digunakan.



Gambar 3.8.Rangkaian Konverter *Buck*

Dari gambar 3.8 terdapat beberapa komponen yang perlu dicari nilai dan ratingnya untuk desain lebih lanjut. Desain Konverter *Buck* ini mengacu dengan parameter pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Konverter *Buck* untuk *Cluster 2*

No	Parameter	Value
1	P_{max}	67,5 watt
2	V_{in}	27 volt
3	V_{out}	25 volt
4	I_{in}	3,75 ampere
5	Dutycycle	92,5%
6	Frekuensi Switching	31250 Hz
7	B_{max}	0,25 tesla
8	PQ3535 A_c	1,96 cm ²

Untuk perhitungan manual nilai parameter-parameter yang berkaitan, yaitu:

a. Duty Cycle

$$Duty = \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (3.14)$$

$$Duty = \frac{27}{25}$$

$$Duty = 0,925$$

$$Duty = 0,925$$

b. Arus Output

$$I_L = I_{out} = \left[\frac{V_{out}}{R} \right] \quad (3.15)$$

$$I_{out} = \left[\frac{V_{out}}{(P_{max}^2 : V_{out})} \right] \quad (3.16)$$

$$I_{out} = \left[\frac{25}{(67,5^2 : 25)} \right]$$

$$I_{out} = 25 : 9,26$$

$$I_{out} = 2,7 \text{ ampere}$$

c. Ripple Arus (10%)

$$\Delta I_L = 0,1 x I_L \quad (3.17)$$

$$\Delta I_L = 0,1 x 2,7$$

$$\Delta I_L = 0,27 \text{ ampere}$$

d. Nilai Induktor

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) x [V_{in} - V_{out}] x \left(\frac{V_{out} + V_F}{V_{in} + V_F} \right) x \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (3.18)$$

$$L = \left(\frac{1}{31250} \right) x [27 - 25] x \left(\frac{25 + 0,7}{27 + 0,7} \right) x \left(\frac{1}{0,27} \right)$$

$$L = 3,2 \cdot 10^{-5} x 2 x (0,927) x \left(\frac{1}{0,27} \right)$$

$$L = 2,197 \cdot 10^{-4} \text{ Henry} = 219,7 \mu\text{Henry}$$

e. Nilai Arus Maksimum Induktor

$$I_{Lmaks} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (3.19)$$

$$I_{Lmaks} = 2,7 + \frac{0,27}{2}$$

$$I_{Lmaks} = 2,885 \text{ ampere}$$

f. Banyak kumparan induktor

$$n = \frac{L \cdot I_{Lmax}}{B_{max} \cdot A_c} 10^4 \quad (3.20)$$

$$n = \frac{2,197 \cdot 10^{-4} \cdot 2,885}{0,25 \cdot 1,96} 10^4$$

$$n = 15,73 \text{ belit}$$

g. Ukuran kawat dari Arus efektif induktor

$$i_{L-rms} = \sqrt{i_{Lmax}^2 + \left(\frac{\Delta i_L / 2}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (3.21)$$

$$i_{L-rms} = \sqrt{2,885^2 + \left(\frac{0,27 / 2}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

$$i_{L-rms} = 2,701 \text{ ampere}$$

h. Dengan split 3 buah kawat, maka didapati arus setelah split adalah $(2,701/3)=0,9$ ampere. Sehingga digunakan kawat 0,51mm (berdasar tabel AWG)

i. Perhitungan Rating Penggunaan Dioda Utama

$$I_{Dpeak} = \frac{I_0}{Duty cycle} \quad (3.22)$$

$$I_{Dpeak} = \frac{2,7}{0,925}$$

$$I_{Dpeak} = 2,91 \text{ ampere}$$

$$I_{Drms} = I_{Dpeak} \times \sqrt{Duty cycle}$$

$$I_{Drms} = 2,91 \times \sqrt{0,925}$$

$$I_{Drms} = 2,805 \text{ ampere}$$

j. Perhitungan Penggunaan Kapasitor

$$I_{Crms} = \sqrt{I_{Drms}^2 - I_0^2} \quad (3.23)$$

$$I_{Crms} = \sqrt{2,805^2 - 2,7^2}$$

$$I_{Crms} = 0,763 \text{ ampere}$$

Nilai kapasitor

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_{Crms} \cdot D \cdot T}{C}$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_0} = \frac{I_{Crms} \cdot D \cdot T}{\Delta V_0}, \Delta V_0 = 0,001 \times 25 \text{ volt}$$

$$C = \frac{0,763 \cdot 0,925 \cdot (1 / 31250)}{0,025}$$

$$C = 0,00003456 F = 34,56 \mu F$$

k. Perhitungan Rangkaian Snubber

$$I_{on} = I_i \quad (3.24)$$

$$I_{on} = 3,75 \text{ ampere}$$

$$V_{off} = V_{in} = 27 \text{ volt}$$

Kapasitor Snubber

$$C_{snubber} \approx \frac{I_{on} \times t_{fall}}{2 \times V_{off}} \quad (3.25)$$

$$C_{snubber} \approx \frac{3,75 \times 43 \cdot 10^{-9}}{2 \times 27}$$

$$C_{snubber} \approx 2,15 \text{ nF}$$

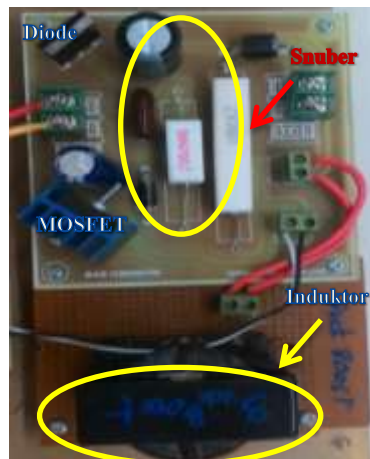
Resistansi Snubber

$$R_{snubber} < \frac{DT}{2 \times C_{snubber}} \quad (3.26)$$

$$R_{snubber} < \frac{0,925 \times (1 / 31250)}{2 \times 4,3 \cdot 10^{-10}}$$

$$R_{snubber} < 6890,6 \text{ ohm}$$

Setelah perhitungan manual dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan rangkaian Konverter *Buck*. Rangkaian konverter *Buck* ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Rangkaian Konverter *Buck* untuk *Cluster 2*

Pengujian dan analisis untuk rangkaian Konverter *Buck* ini akan dibahas lebih lanjut pada bab 4.

3.3.5 DC-DC *Buck* Konverter (*Cluster 3*)

Cluster 3 pada penelitian ini memiliki range kerja mulai dari 7 volt sampai dengan tegangan MPP 4 modul PV yaitu sebesar 36 volt. Jadi *Cluster 3* ini adalah untuk *Cluster* dengan kondisi *Uniform*.

Adapun parameter Konverter *Buck* untuk *Cluster 3* mengacu dan disajikan pada tabel 3.3 .

Tabel 3.3 Parameter Konverter *Buck* untuk *Cluster 3*

No	Parameter	Value
1	P_{\max}	90 watt
2	V_{in}	36 volt
3	V_{out}	25 volt
4	I_{in}	5 ampere
5	Dutycycle	69,4%
6	Frekuensi Switching	31250 Hz
7	B_{\max}	0,25 tesla
8	PQ3535 A_c	1,96 cm ²

Untuk perhitungan manual nilai parameter-parameter yang berkaitan, yaitu:

a. Duty Cycle

$$Duty = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}} \quad (3.27)$$

$$Duty = \frac{36}{25}$$

$$Duty = 0,694$$

$$Duty = 0,694$$

b. Arus Output

$$I_L = I_{\text{out}} = \left[\frac{V_{\text{out}}}{R} \right] \quad (3.28)$$

$$I_{\text{out}} = \left[\frac{V_{\text{out}}}{(P_{\max}^2 : V_{\text{out}})} \right] \quad (3.29)$$

$$I_{\text{out}} = \left[\frac{25}{(90^2 : 25)} \right]$$

$$I_{\text{out}} = 3,6 \text{ ampere}$$

c. Ripple Arus (10%)

$$\Delta I_L = 0,1 \times I_L \quad (3.30)$$

$$\Delta I_L = 0,1 \times 3,6$$

$$\Delta I_L = 0,36 \text{ ampere}$$

d. Nilai Induktor

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) x [V_{in} - V_{out}] x \left(\frac{V_{out} + V_F}{V_{in} + V_F} \right) x \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (3.31)$$

$$L = \left(\frac{1}{31250} \right) x [36 - 25] x \left(\frac{25 + 0,7}{36 + 0,7} \right) x \left(\frac{1}{0,36} \right)$$

$$L = 3,2 \cdot 10^{-5} x 11 x (0,70) x \left(\frac{1}{0,36} \right)$$

$$L = 6,844 \cdot 10^{-4} \text{ Henry} = 684,4 \mu\text{Henry}$$

e. Nilai Arus Maksimum Induktor

$$I_{Lmaks} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (3.32)$$

$$I_{Lmaks} = 3,6 + \frac{0,36}{2}$$

$$I_{Lmaks} = 3,834 \text{ ampere}$$

f. Banyak kumparan induktor

$$n = \frac{L \cdot I_{Lmax}}{B_{max} \cdot A_c} 10^4 \quad (3.33)$$

$$n = \frac{6,844 \cdot 10^{-4} \cdot 3,834}{0,25 \cdot 1,96} 10^4$$

$$n = 41,21 \text{ lili tan}$$

g. Ukuran kawat dari Arus efektif induktor

$$i_{L-rms} = \sqrt{i_{Lmax}^2 + \left(\frac{\Delta i_L / 2}{\sqrt{3}} \right)^2} \quad (3.34)$$

$$i_{L-rms} = \sqrt{3,834^2 + \left(\frac{0,27 / 2}{\sqrt{3}} \right)^2}$$

$$i_{L-rms} = 3,602 \text{ ampere}$$

h. Dengan split 3 buah kawat, maka didapati arus setelah split adalah $(3,602/3)=1,201$ ampere. Sehingga digunakan kawat 0,64mm (berdasar tabel AWG)

i. Perhitungan Rating Penggunaan Dioda Utama

$$I_{Dpeak} = \frac{I_0}{Dutycycle} \quad (3.35)$$

$$I_{Dpeak} = \frac{3,6}{0,694}$$

$$I_{Dpeak} = 5,18 \text{ ampere}$$

$$I_{Drms} = I_{Dpeak} x \sqrt{Dutycycle}$$

$$I_{Drms} = 5,18 x \sqrt{0,694}$$

$$I_{Drms} = 4,3 \text{ ampere}$$

j. Perhitungan Penggunaan Kapasitor

$$I_{Crms} = \sqrt{I_{Drms}^2 - I_0^2} \quad (3.36)$$

$$I_{Crms} = \sqrt{4,3^2 - 3,6^2}$$

$$I_{Crms} = 2,388 \text{ ampere}$$

Nilai kapasitor

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_{Crms} \cdot D \cdot T}{C}$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_0} = \frac{I_{Crms} \cdot D \cdot T}{\Delta V_0}, \Delta V_0 = 0,001 \times 25 \text{ volt}$$

$$C = \frac{2,388 \cdot 0,694 \cdot (1 / 31250)}{0,025}$$

$$C = 0,00007488 F = 74,88 \mu F$$

k. Perhitungan Rangkaian Snubber

$$I_{on} = I_i \quad (3.37)$$

$$I_{on} = 5 \text{ ampere}$$

$$V_{off} = V_{in} = 36 \text{ volt}$$

Kapasitor Snubber

$$C_{snubber} \approx \frac{I_{on} \cdot t_{fall}}{2 \cdot V_{off}} \quad (3.38)$$

$$C_{snubber} \approx \frac{5 \times 43 \cdot 10^{-9}}{2 \times 36}$$

$$C_{snubber} \approx 2,15 \text{ nF}$$

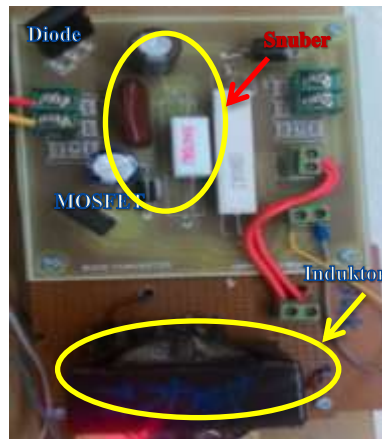
Resistansi Snubber

$$R_{snubber} < \frac{D \cdot T}{2 \cdot C_{snubber}} \quad (3.39)$$

$$R_{snubber} < \frac{0,694 \times (1 / 31250)}{2 \times 2,15 \cdot 10^{-10}}$$

$$R_{snubber} < 5167,96 \text{ ohm}$$

Setelah perhitungan manual dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan rangkaian Konverter *Buck*. Rangkaian konverter *Buck* ditunjukkan pada gambar 3.10.

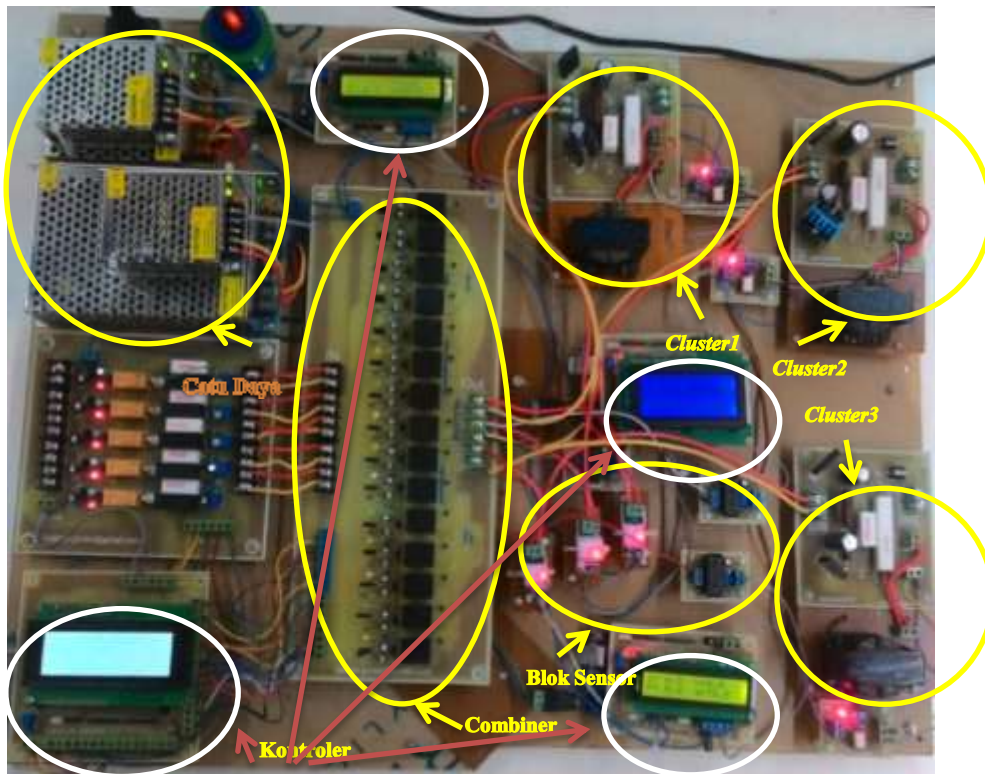


Gambar 3.10 Rangkaian Konverter *Buck* untuk *Cluster 3*

Pengujian dan analisis untuk rangkaian Konverter *Buck* ini akan dibahas lebih lanjut pada bab 4.

3.3.9 Integrasi Hardware

Setelah perencanaan dan implementasi bagian-bagian hardware, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian perbagian untuk meminimalisasi kesalahan dalam integrasi. Untuk integrasi hardware mengacu pada blok diagram sistem yang diusulkan sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1 pada Sub-Bab 3.1 Konfigurasi Sistem. Dalam integrasi hardware terdapat blok pencatu daya yang diambil dari jala-jala PLN sebagai sumber daya untuk rangkaian kontroller dan rangkaian driver. Dalam integrasi hardware juga terdapat blok sensor tegangan dan arus dimasing-masing *Cluster* sebagai masukan algoritma MPPT yang akan digunakan untuk mengendalikan konverter pada setiap topologi *Cluster* agar daya yang berada pada masing-masing *Cluster* bisa optimal. Pada masing-masing blok kontroller juga terdapat *interface* berupa *LCD text* untuk melihat respon kontroller terhadap sinyal masukan. Untuk kontroller yang ditanami algoritma MPPT, *interface* yang dipasang bertujuan mempermudah pembacaan daya ketika proses tracking berlangsung. Gambar 3.11 adalah hasil dari sistem integrasi hardware secara keseluruhan.



Gambar 3.11 Rangkaian Integrasi Sistem MPPT berbasis *Cluster*

3.4. Perencanaan Software

Perencanaan software meliputi desain algoritma *Smart Cluster* dan desain algoritma MPPT yang digunakan untuk penelitian ini.

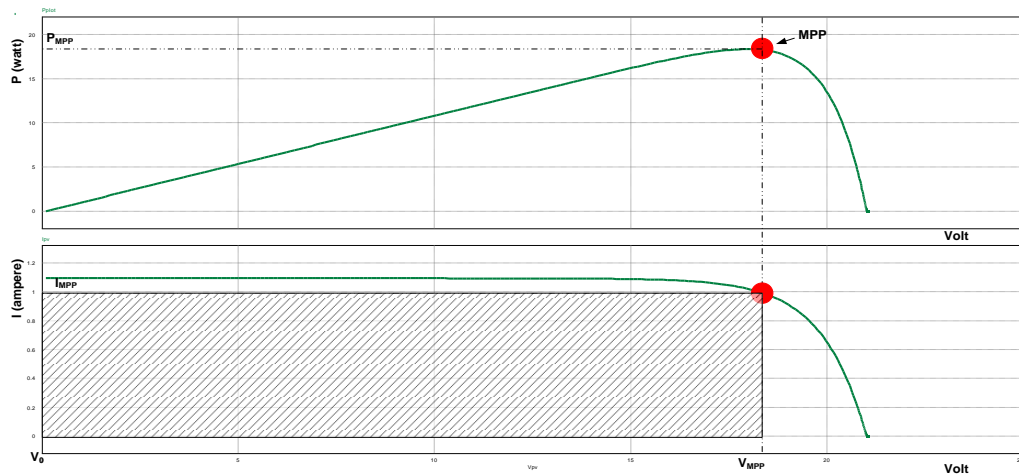
3.4.1 Desain Algoritma Smart Cluster

Desain Algoritma *Smart Clustering PV Farm* mengacu pada hipotesis penelitian sebelumnya dan studi pustaka yang dikemukakan pada Bab 2 [3]. Pada referensi tersebut menjelaskan bahwa dengan menggunakan sistem klasifikasi pada *PV Farm* akan membuat daya yang bisa dipanen lebih besar.

Pada gambar 3.11 sampai dengan gambar 3.12 adalah pemaparan model matematis menggunakan pendekatan luas area sebagai pembuktian awal bahwa hipotesis yang dikemukakan pada penelitian sebelumnya memang bisa diuji dan diimplementasikan dalam *PV farm* untuk meningkatkan daya yang dipanen.

Perbedaan utama sistem yang diusulkan dibandingkan dengan sistem MPPT yang sebelumnya adalah pada pendekatan pencarian nilai MPP-nya. Jika

sistem MPPT sebelumnya mengejar nilai MPP pada saat global optimum, maka pada sistem *Clustering* ini tidak hanya mencari nilai MPP pada saat global optimum saja, namun sistem ini akan mengklasifikasikan kemudian menjumlahkan besarnya daya yang terdapat pada masing-masing titik MPP pada masing-masing *Cluster* yang terbentuk.



Gambar 3.12 Kurva Karakteristik PV *Farm* saat *Uniform*

Gambar 3.12 adalah gambar kurva karakteristik PV *Farm* saat kondisi *Uniform*. Pencarian titik *Maximum Power Point* (MPP). Pada gambar atas adalah kurva P-V sementara gambar bawah adalah kurva I-V pada kasus PV *Farm* yang *uniform*. Dalam kurva P-V yang *uniform*, pencarian titik MPP (tanda merah) ekuivalen dengan pencarian fungsi obyektif dari pencarian luas maksimal pada kurva karakteristik I-V yang dirumuskan dengan persamaan integral luasan pada persamaan 3.40.

$$P = \int_{V_0}^{V_{MPP}} I_{MPP} \cdot dV \quad (3.40)$$

dimana

P : daya (watt)

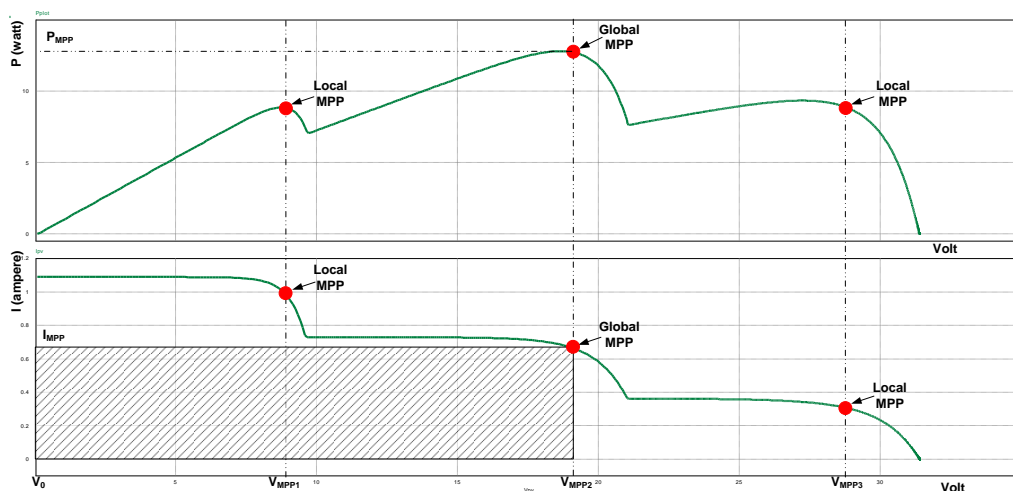
V_0 : batas bawah integral (volt)

V_{MPP} : batas atas integral dan tegangan maksimal dari PV *farm* (volt)

I_{MPP} : arus maksimal dari PV *farm* (ampere)

Daerah yang diarsir pada gambar 3.11 bawah adalah daerah yang ekuivalen dengan besaran daya yang berusaha untuk dioptimalkan. Karena daya (P) adalah perkalian dua dimensi antara besaran tegangan (V) dengan besaran arus (I), sehingga daya dikatakan sudah mencapai titik optimal apabila luasan pada kurva yang terarsir juga maksimal. Daerah berwarna putih diantara kurva hijau dan daerah terarsir adalah daerah saturasi dari PV *farm*.

Pada gambar 3.13 adalah gambar untuk PV *farm* yang mengalami kondisi tertutup bayangan sebagian yang memiliki tiga buah puncak daya. Saat PV *farm* tertutup bayangan sebagian, maka dalam kurva karakteristik P-V akan memiliki beberapa puncak yang disebut *Local MPP* dan *Global MPP*, adapun *Global MPP* adalah puncak tertinggi yang mungkin untuk dicapai oleh PV *Farm* dengan kondisi tertutup bayangan sebagian.



Gambar 3.13 Kurva Karakteristik PV *Farm* saat Tertutup Bayangan Sebagian

Dengan menggunakan algoritma metaheuristik, mungkin akan bisa menyelesaikan persoalan untuk mencari daya puncak maksimal di *Global MPP*-nya, jika dibandingkan metode algoritma awal seperti PnO yang seringkali terjebak pada titik *Local MPP*. Namun jika diamati pada kurva I-V, maka sebenarnya metode algoritma metaheuristik masih belum cukup berhasil dalam mencari luasan maksimal dari kurva PV *farm*. Pada metode algoritma metaheuristik secanggih apapun, luasan yang terbentuk adalah luasan terarsir sesuai dengan rumusan 3.41. Dengan mencari titik *Global MPP*, maka masih ada

area berwarna putih diantara luas terarsir dan kurva berwarna hijau. Area ini dianggap sebagai area saturasi, meskipun sesungguhnya dalam area tersebut tidak sepenuhnya saturasi. Area tersebut masih bisa diekstrak menjadi daya jika menggunakan pendekatan *Cluster*.

$$P = \int_{V_0}^{V_{MPP2}} I_{MPP2} \cdot dV \quad (3.41)$$

dimana

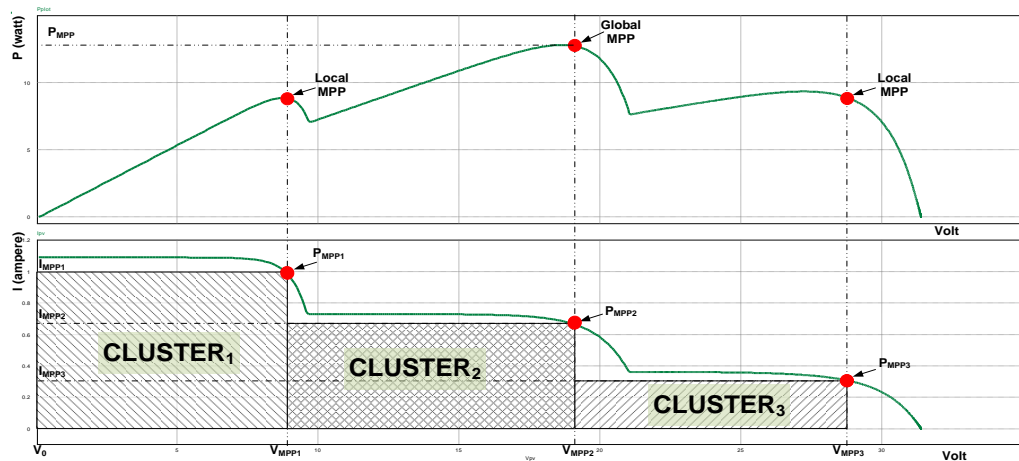
P : daya (watt)

V_0 : batas bawah integral (volt)

V_{MPP2} : batas atas integral dan tegangan *Global MPP* dari PV farm (volt)

I_{MPP} : arus maksimal *Global MPP* dari PV farm (ampere)

Gambar 3.14 adalah pendekatan *Cluster* yang akan digunakan dalam penelitian ini. Pendekatan *Cluster* adalah metode pencarian luas dengan membagi kurva pada level tegangan tertentu (idealnya tegangan V_{MPP}) sebagai batasnya. Dengan menggunakan kurva karakteristik yang sama untuk PV farm yang tertutup bayangan sebagian maka sebenarnya potensi daya yang bisa dipanen oleh PV farm saat tertutup bayangan sebagian lebih besar daripada jika hanya menjejak pada titik *Global MPP*-nya.



Gambar 3.14 Kurva Karakteristik PV Farm saat Tertutup Bayangan Sebagian dengan Pendekatan *Cluster*

Dalam gambar 3.14 terlihat pendekatan *Cluster* untuk Kurva Karakteristik PV *Farm* saat tertutup bayangan sebagian. Apabila dengan menggunakan metode sebelumnya daya yang diekstrak adalah daya *Global MPP* dari PV *farm*, maka dengan pendekatan *Cluster* didapatkan area yang lebih luas. Dengan meminimalisir area saturasi dari PV *farm*. Jika diasumsikan bahwa *Local MPP* pertama adalah P_{MPP1} dan *Local MPP* berikutnya adalah P_{MPP3} , sementara *Global MPP* adalah P_{MPP2} , maka luasan sebagai fungsi obyektif dari kurva I-V menggunakan pendekatan *Cluster* bisa dirumuskan sebagai persamaan 3.42.

$$P_{Optimal} = \int_{V_0}^{V_{MPP1}} I_{MPP1} \cdot dV + \int_{V_{MPP1}}^{V_{MPP2}} I_{MPP2} \cdot dV + \int_{V_{MPP2}}^{V_{MPP3}} I_{MPP3} \cdot dV \quad (3.42)$$

dimana

$P_{Optimal}$: daya total semua *Cluster* (watt)

V_0 : batas bawah integral (volt)

V_{MPP1} : tegangan *MPP* dari PV *farm Cluster 1* (volt)

V_{MPP2} : tegangan *MPP* dari PV *farm Cluster 2* (volt)

V_{MPP3} : tegangan *MPP* dari PV *farm Cluster 3* (volt)

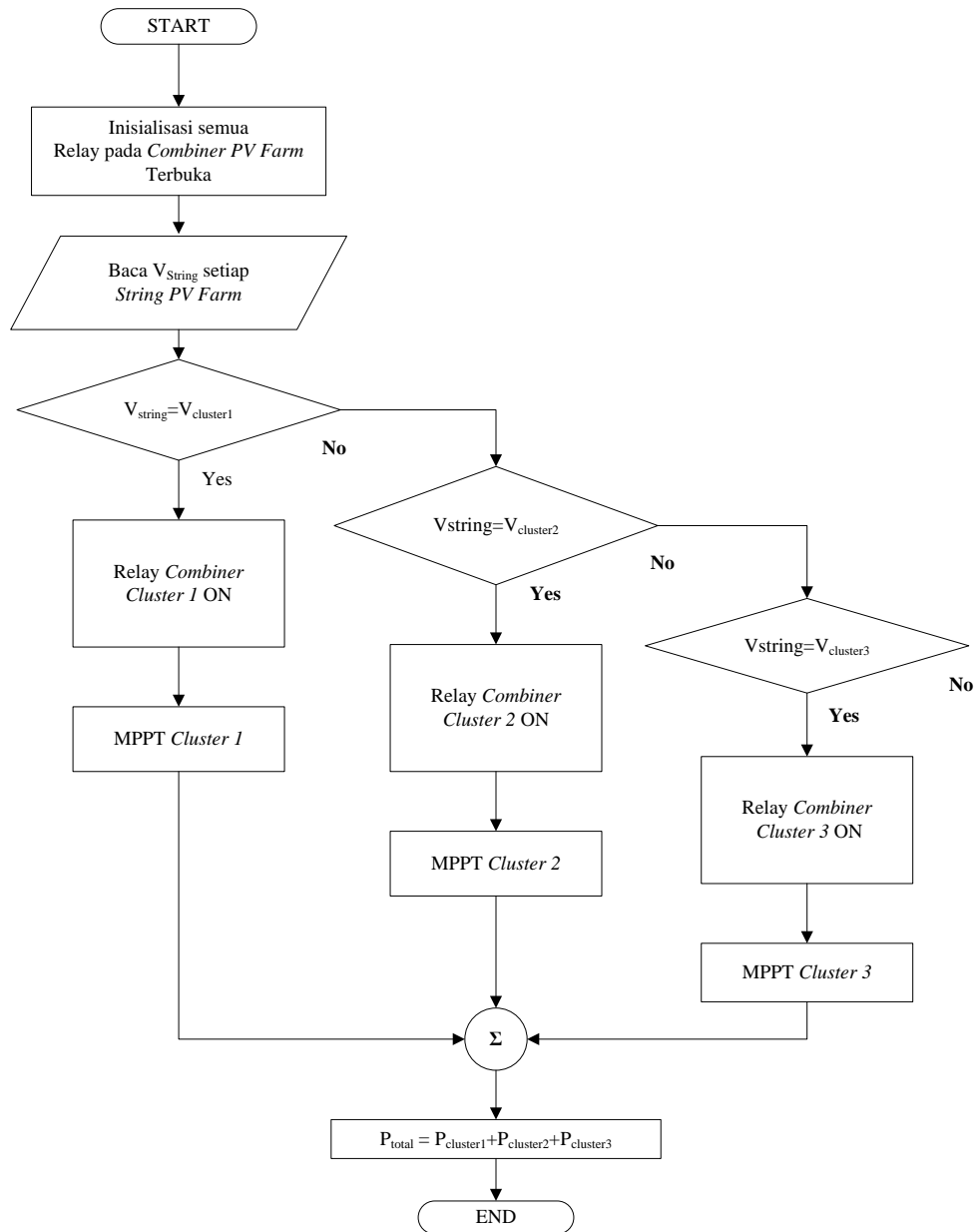
I_{MPP1} : arus *MPP* dari PV *farm Cluster 1* (ampere)

I_{MPP2} : arus *MPP* dari PV *farm Cluster 2* (ampere)

I_{MPP3} : arus *MPP* dari PV *farm Cluster 3* (ampere)

Dari persamaan 3.40 dan 3.41 terlihat bahwa sebenarnya nilai daya yang dihasilkan oleh metode *Cluster* bisa dipastikan secara matematis bahwa akan selalu lebih besar jika dibandingkan dengan metode yang menjejak nilai *Global MPP*-nya saja dengan melihat luasan yang terarsir semakin luas dan luas daerah saturasinya semakin menyempit. Dengan menggunakan Metode *Cluster*, Algoritma pencarian puncak daya pun akan menjadi kembali lebih sederhana, karena dalam satu area *Cluster* secara ideal hanya akan memiliki satu puncak *MPP*. Sehingga metode MPPT paling sederhana pun tidak akan pernah terjebak pada nilai puncak *Local MPP*, karena pada kurva karakteristik PV *farm* yang *uniform*, *Local MPP* adalah sama dengan *Global MPP*.

Dari hipotesis yang dijelaskan sebelumnya [3], maka sistem *Cluster* pada PV farm bisa memiliki strategi yang beragam. Bisa menggunakan sensing modul, sensing string dengan ataupun tanpa menggunakan *dummy load*. Sedangkan untuk algoritma yang digunakan juga bermacam-macam, namun pada penelitian ini memilih untuk melakukan sensing tegangan string dengan algoritma sederhana yaitu algoritma *Smart Cluster*. Adapun *flowchart* dari algoritma *Smart Cluster* dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Algoritma *Smart Cluster*

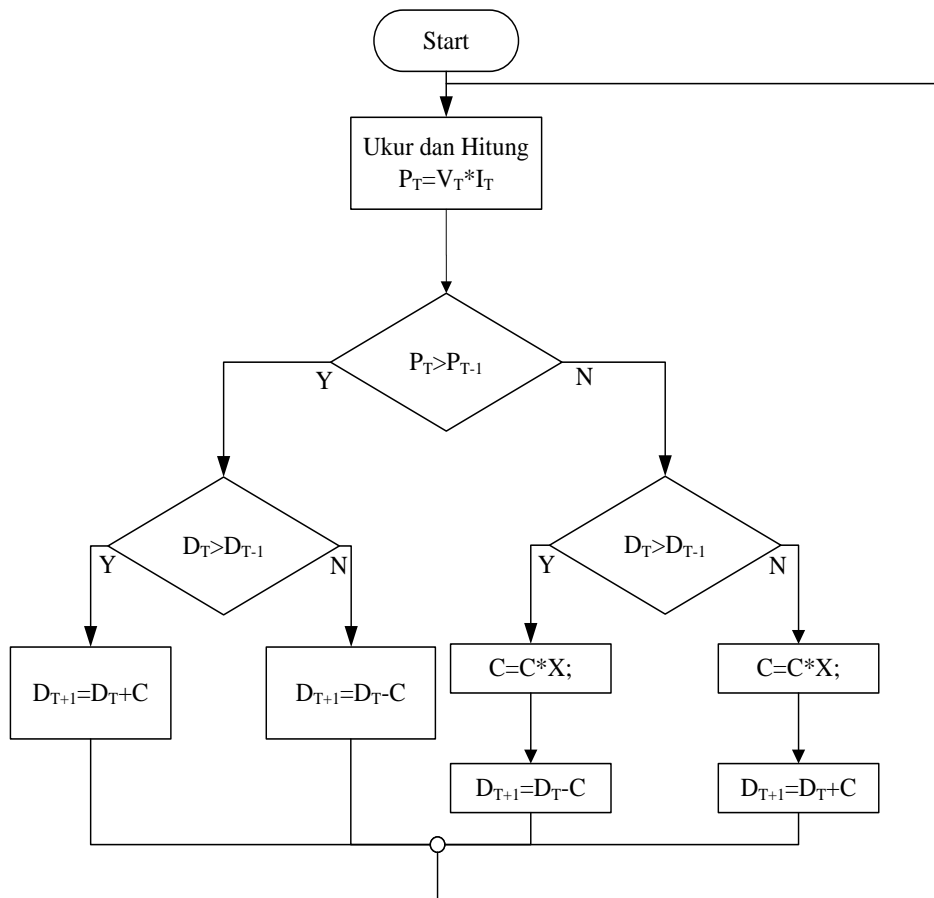
Pada algoritma *Smart Cluster* $V_{Cluster1}$ memiliki batas *Cluster* diantara 4,5 volt sampai dengan 9 volt, $V_{Cluster2}$ memiliki batas *Cluster* diantara 9 volt sampai dengan 27 volt, sedangkan $V_{Cluster3}$ memiliki batas *Cluster* diantara 27 volt sampai dengan 36 volt. Pemilihan 3 *Cluster* ini adalah permisalan untuk memisahkan level tegangan keluaran menjadi 3 level. Level pertama *Cluster 1* digunakan untuk daya sistem *PV farm*, Level kedua *Cluster 2* digunakan sebagai injeksi ke tegangan menengah dan distribusi ke area residential, kemudian Level ketiga *Cluster 3* digunakan untuk injeksi ke sistem transmisi.

Dari permisalan 3 *Cluster* tersebut, masih ada peluang untuk munculnya ketidakseragaman kurva karakteristik PV pada area *Cluster 2*, hal ini disebabkan karena pada *Cluster 2* memiliki peluang terbentuk oleh 2 buah modul pada string yang berbeda, hal ini menyebabkan munculnya dua level tegangan yang berbeda pula. Dengan munculnya persoalan tersebut maka digunakanlah Algoritma *Firefly* sebagai MPPT untuk *Cluster 2* yang akan dibahas pada sub-bab 3.4.3.

3.4.2 Desain Algoritma Modified PnO sebagai MPPT *Cluster 1* dan *Cluster 3*

Perturb and Observe (PnO) adalah sebuah algoritma awal yang digunakan untuk aplikasi *Maximum Power Point Tracker photovoltaic*. Algoritma ini mempunyai respon yang cukup cepat dalam mencari titik puncak daya dari sebuah kurva karakteristik PV yang *uniform*, tapi PnO memiliki kelemahan *ripple duty cycle* ketika mencapai kondisi *steady state*. Kelemahan ini berimbas pada munculnya ripple pada daya keluaran konverter.

Algoritma *Modified PnO* merupakan algoritma pengembangan dari PnO. Penggunaan algoritma ini diperbaiki dengan menambahkan faktor X yang berfungsi menurunkan besaran konstanta langkah pencarian dari PnO. Faktor X ini ditambahkan setiap *dutycycle* berosilasi disekitar *dutycycle steady state*. Dengan penambahan faktor X ini maka besaran konstanta langkah *dutycycle* akan mengecil sehingga ripplanya semakin lama akan menjadi nol. Faktor X memiliki besaran diantara 0 sampai dengan 1. Gambar 3.16 adalah *flowchart* untuk algoritma *Modified PnO*.



Gambar 3.16 Flowchart Algoritma Modified PnO sebagai MPPT

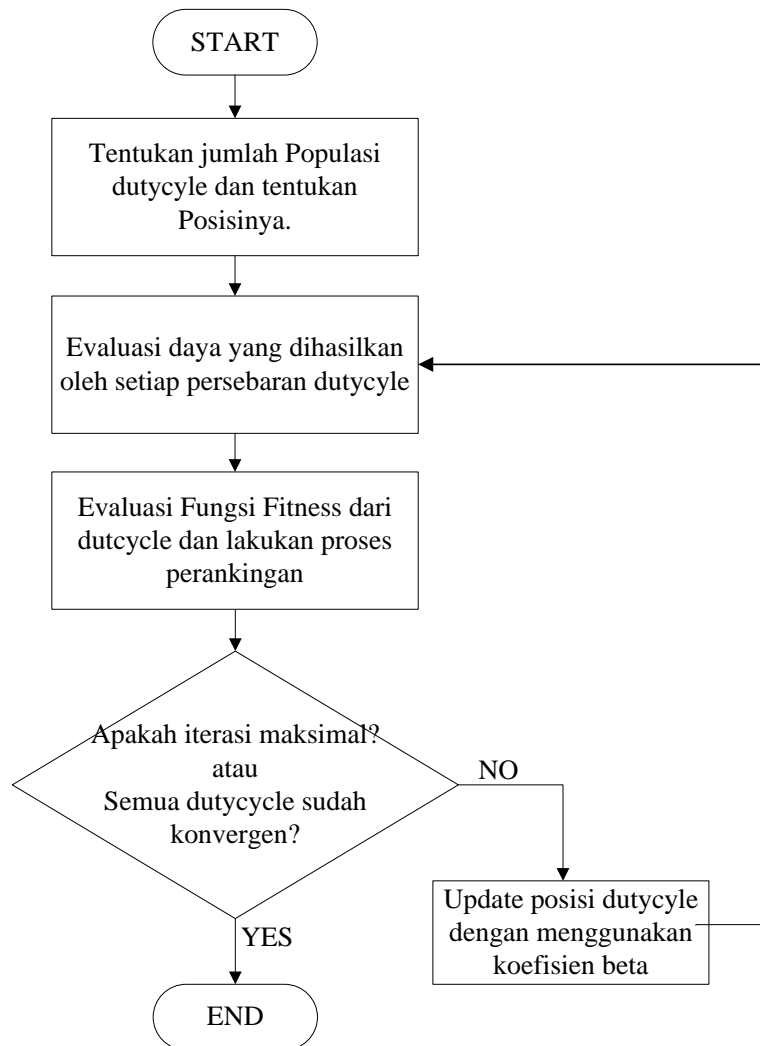
Pada *Cluster* 1 dan 3, kecenderungan tegangan yang terklasifikasikan dalam kedua *Cluster* ini adalah tegangan yang *uniform*, sehingga tidak diperlukan metode metaheuristik untuk mencari titik *Global MPP*-nya.

3.4.3 Desain Algoritma *Firefly* sebagai MPPT *Cluster* 2

Algoritma *Firefly* terinspirasi oleh pembelajaran pada populasi dari kunang-kunang saat musim kawin. Individu kunang-kunang adalah uniseksual, sehingga setiap individu akan saling tertarik dengan individu yang lain dalam satu populasinya. Ketertarikan ini bergantung pada tingkat kecerahan cahaya yang dihasilkan oleh kunang-kunang, semakin bercahaya kunang-kunang maka semakin menariklah kunang-kunang tersebut didalam populasinya. Sehingga kunang-kunang yang memiliki cahaya kurang terang akan mendekat kepada kunang-kunang yang lebih bercahaya. Namun jika kunang-kunang tersebut adalah

kunang-kunang paling terang dalam populasinya, maka kunang-kunang ini akan bergerak acak.

Dalam aplikasi MPPT, jumlah populasi kunang-kunang adalah jumlah *dutycyle* yang disebar dalam range pencarian titik *Global MPP*. Semakin banyak kunang-kunang yang disebar maka akan semakin akurat dalam mencari titik *Global MPP*, tetapi akan membuat waktu komputasi menjadi bertambah. Penggunaan faktor beta adalah faktor untuk menunjukkan ketertarikan, besarnya faktor beta adalah diantara nilai 0 sampai dengan 1. Semakin besar nilai beta maka pergerakan individu *dutycycle* akan semakin cepat, namun akan mengurangi kepresisiannya. Semakin rendah nilai beta, maka pergerakan *dutycyle* akan semakin lambat namun akan lebih presisi dalam mencapai nilai *Global MPP*.



Gambar 3.17 Flowchart Algoritma Firefly sebagai MPPT

Gambar 3.17 adalah *flowchart* dari algoritma *Firefly* sebagai MPPT. Dalam *flowchart* ini besarnya iterasi tidak ditentukan sehingga *dutycyle* akan terus bergerak namun selalu konvergen menuju satu posisi *global MPP*.

Dengan penggunaan Algoritma *Firefly* sebagai MPPT dalam *Cluster 2* ini, diharapkan dapat menyelesaikan persoalan *multiple MPP* di *Cluster 2*. Meskipun bukan solusi terbaik untuk mendapatkan ekstraksi optimal dari daya pada *Cluster 2*, namun penggunaan *Firefly* ini dalam kondisi steady state akan lebih baik mendapatkan daya optimal dibandingkan dengan penggunaan algoritma Modified PnO khususnya pada saat *Cluster 2* yang memiliki peluang kurva karakteristik P-V tidak *uniform*.

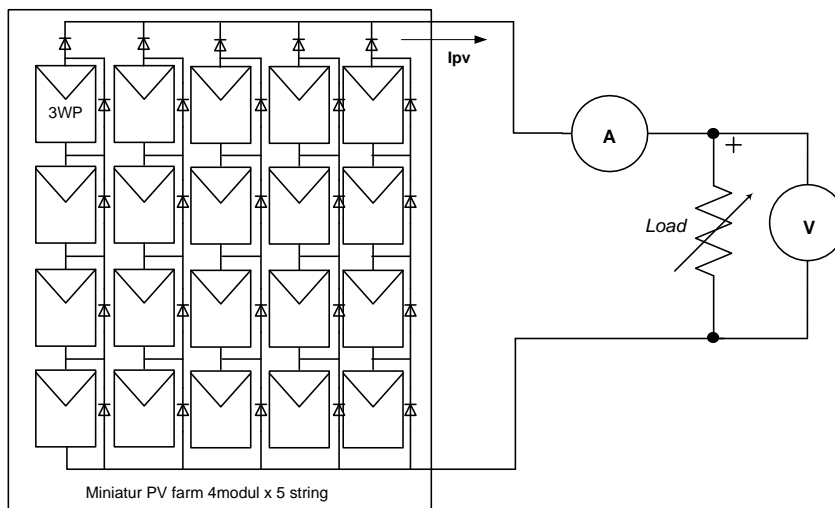
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik *Photovoltaic Farm*

Pengujian karakteristik miniatur *Photovoltaic Farm* (PV *Farm*) diperlukan sebagai acuan perancangan topologi konverter yang digunakan pada penelitian ini. Berikut penyajian data karakteristik miniatur PV *Farm* yang diambil pada hari Sabtu dan Minggu, 10 dan 11 September 2016 dengan parameter cuaca dominan cerah sedikit berawan. Data yang disajikan adalah data karakteristik pukul 11.00 WIB sampai dengan 13.00 WIB dengan pengamatan intensitas radiasi relatif matahari seragam dan dalam posisi ortogonal terhadap bidang permukaan PV.



Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian Karakteristik *Photovoltaic Farm*

Gambar 4.1 adalah gambar rangkaian pengujian dari miniatur PV *Farm*. Rangkaian ini memiliki nilai resistor variabel berupa *sliding* resistor sebagai beban. Miniatur PV *Farm* terdiri dari 20 modul 3 watt-peak yang disusun seri – paralel dengan konfigurasi 4 modul membentuk 1 string, dan 5 string membentuk sebuah array PV *Farm*.

Nilai resistansi dari variabel resistor diubah sesuai dengan kenaikan tegangan yang terukur dengan step sebesar 5 volt, hal ini bertujuan menjaga

linieritas step data yang akan diolah, sedangkan ketika mendekati nilai maksimum rating tegangan PV *Farm*, rangkaian akan dijadikan *open circuit* sehingga didapati tegangan maksimum dengan arus yang minimum. Kemudian ketika nilai step tegangan sudah mendekati nilai 0 volt, beban dan Voltmeter akan dilepas menjadi rangkaian *short circuit* sehingga akan didapatkan data tegangan minimum dimana arus yang terukur adalah arus maksimum.

4.1.1 Karakteristik *Uniform*

Untuk karakteristik pengujian *Uniform* sebagaimana ditunjukkan pada gambar dokumentasi 4.2, dikondisikan seluruh modul dalam keadaan ortogonal terhadap bidang jatuh dari radiasi matahari. Pengambilan data dilakukan di area parkir depan laboratorium Konversi Energi, jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Masing-masing modul PV pada PV *farm* ini telah diparalel dengan sebuah *bypass diode*, kemudian disetiap ujung dari string juga telah dipasang *blocking diode*.



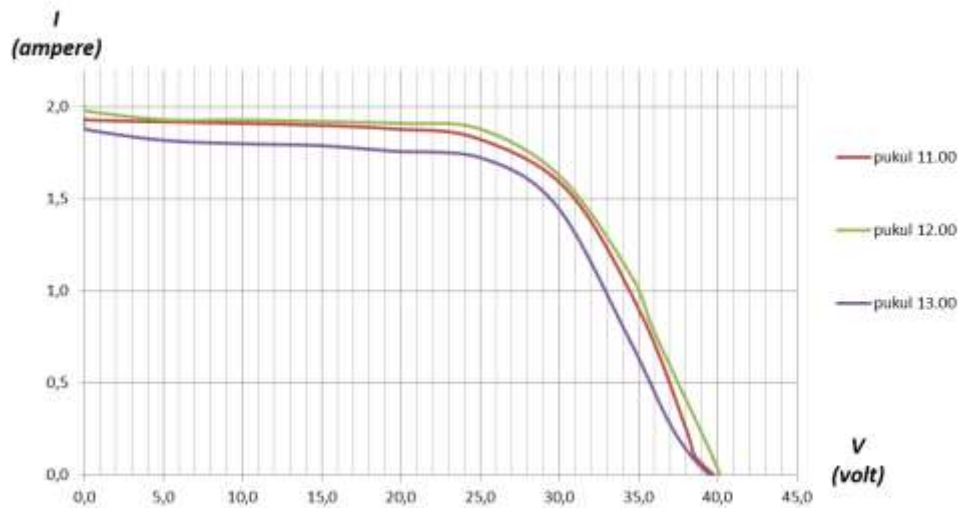
Gambar 4.2 Pengujian Karakteristik PV *Farm*

Dari pengujian ini didapatkan data yang disajikan dalam tabel 4.1. Data untuk PV *farm* kondisi *uniform* disajikan dalam bentuk 3 varian data, yaitu data pukul 11.00 WIB, data pukul 12.00 WIB dan data pukul 13.00 WIB. Masing – masing data pada tabel 4.1 akan diplot dalam bentuk kurva karakteristik arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan yang disajikan pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.

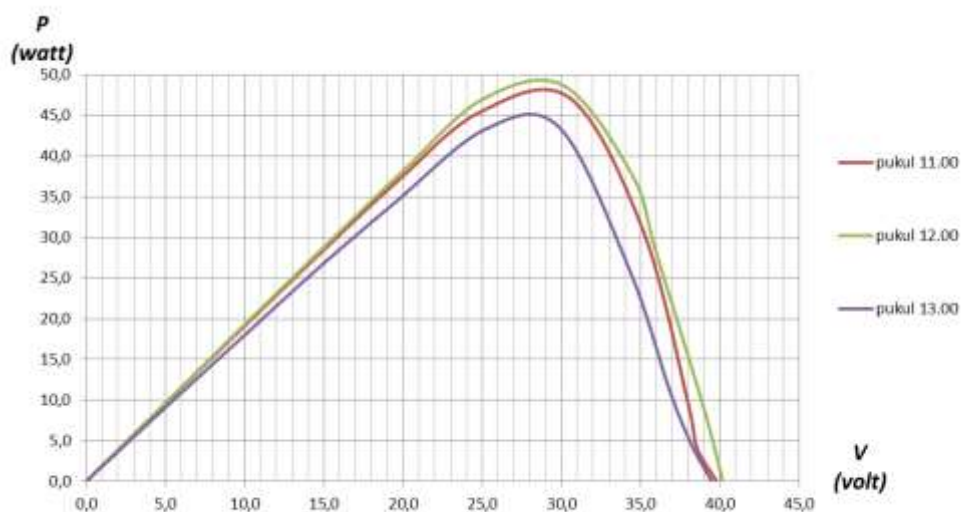
Tabel 4.1 Data Pengujian PV *farm* dengan Intensitas Radiasi Matahari *Uniform*

Waktu	Beban	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
11.00 WIB	<i>Short Circuit</i>	0,000	1,940	0,000
		0,001	1,930	0,002
		4,350	1,920	8,352
		10,160	1,910	19,406
		14,780	1,900	28,082
		19,660	1,880	36,961
		24,800	1,830	45,384
		30,490	1,550	47,260
		35,150	0,880	30,932
		38,060	0,240	9,134
		38,530	0,110	4,238
	<i>Open Circuit</i>	39,800	0,000	0,000
12.00 WIB	<i>Short Circuit</i>	0,000	2,010	0,000
		0,012	1,980	0,024
		5,100	1,930	9,843
		9,800	1,930	18,914
		15,200	1,920	29,184
		20,100	1,910	38,391
		25,000	1,880	47,000
		30,100	1,620	48,762
		34,500	1,090	37,605
		36,000	0,780	28,080
		39,000	0,230	8,970
	<i>Open Circuit</i>	40,200	0,000	0,000
13.00 WIB	<i>Short Circuit</i>	0,000	1,910	0,000
		0,001	1,880	0,002
		4,800	1,820	8,736
		9,900	1,800	17,820
		14,820	1,790	26,528
		19,500	1,760	34,320
		25,200	1,720	43,344
		29,860	1,460	43,596
		34,300	0,760	26,068
		36,800	0,310	11,408
		38,200	0,120	4,584
	<i>Open Circuit</i>	39,500	0,000	0,000

Dari tabel 4.1 diplot kurva karakteristik yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 dan 4.4 sebagai berikut.



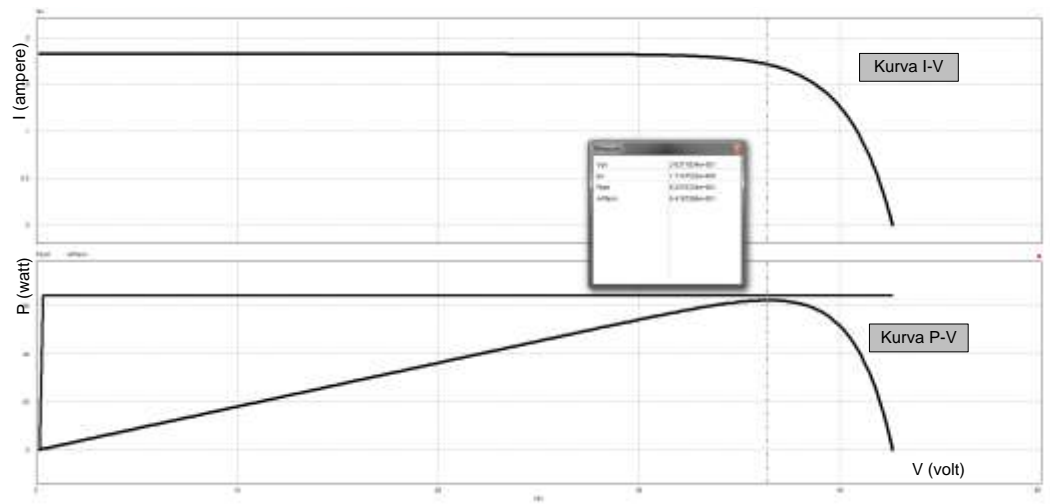
Gambar 4.3 Kurva Karakteristik I-V dari PV Farm



Gambar 4.4 Kurva Karakteristik P-V dari PV Farm

Kurva yang terbentuk ini relatif sama dengan kurva karakteristik yang diplotkan menggunakan software simulasi pada gambar 4.5 dengan sedikit perbedaan pada *magnitude*-nya. Kurva yang terbentuk dari data Tabel 4.1 juga hanya memiliki sebuah puncak sebagai *Global MPP*-nya. Dari 60 watt yang

menjadi rating dari 20 modul, ternyata hanya mampu mencapai nilai *Global MPP* sebesar 48,762 watt. Hal ini kemungkinan disebabkan karena intensitas radiasi matahari belum sampai pada kondisi rating sebesar 1000 watt/m², temperatur permukaan pada modul PV lebih besar dari 25⁰ C, dan bisa juga karena kesalahan paralaks dikarenakan pembacaan yang tidak ortogonal pada alat ukur amperemeter analog. Penyebab lain adalah rugi tegangan pada diode blocking, serta rugi disipasi daya pada kabel serta alat ukur.



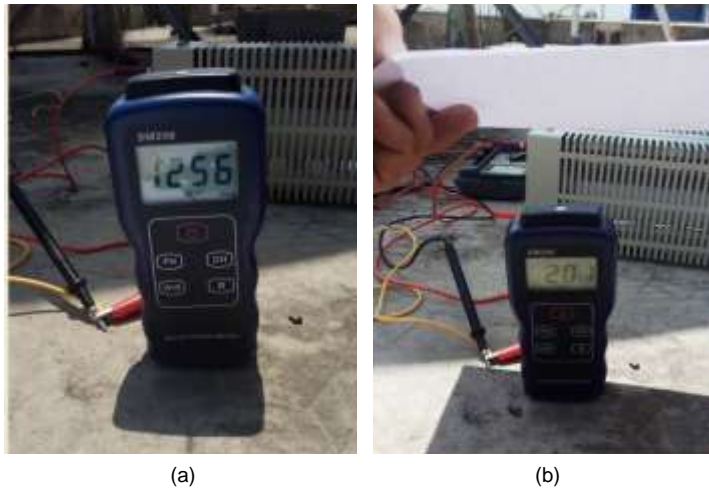
Gambar 4.5 Kurva Karakteristik I-V dan P-V dari PV Farm Simulasi

Dengan menggunakan data parameter yang diusahakan semirip mungkin antara simulasi dan implementasi, sebagaimana Gambar 3.3 pada BAB 3, didapatkan kurva karakteristik pada gambar 4.5. Adapun magnitude *Global MPP* yang terbaca pada hasil simulasi adalah 62,9 watt dari daya yang *available* sebesar 64,19 watt dengan kondisi radiasi matahari sebesar 1000 watt/m² dan temperatur permukaan modul adalah 25⁰ C.

4.1.2. Efek Dioda Bypass pada String PV Farm

Pengujian efek dioda *bypass* ini melingkupi skema modul PV pada *string* PV *farm* dalam kondisi tertutup bayangan tidak ideal (radiasi \neq 0 watt/m²). Pengujian ini sebagai pendekatan yang lebih implemtatif karena efek tertutup bayangan yang tidak ideal lebih memungkinkan terjadi karena bayangan awan masih meneruskan radiasi sinar matahari meskipun dibawah 100%. Pengujian

menggunakan pendekatan tertutup bayangan yang dilakukan dengan bayangan kertas, adapun radiasi tanpa tertutup bayangan adalah sebesar 1256 watt/m² dan dibawah bayangan kertas adalah sekitar 201 watt/m² sebagaimana terlihat pada gambar 4.6.

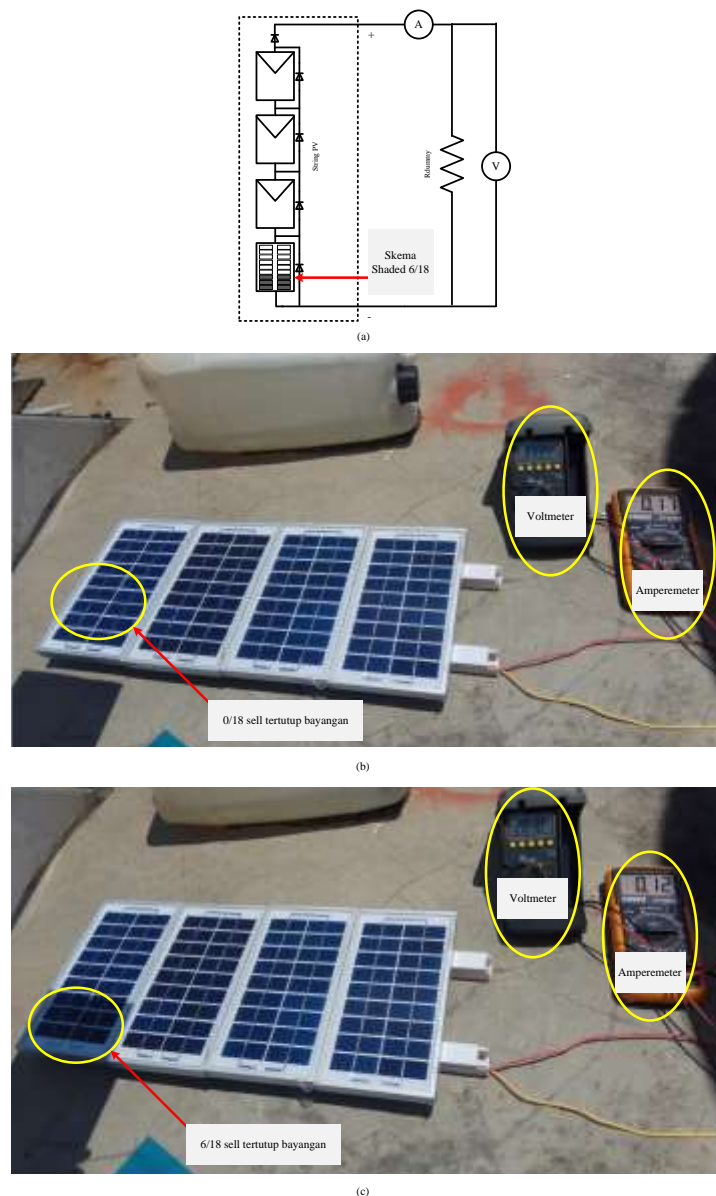


Gambar 4.6 (a) Radiasi Tanpa Tertutup Bayangan (b) Radiasi Tertutup Bayangan

Adapun skema tertutup bayangan untuk menguji efek dioda *bypass* ditunjukkan pada gambar 4.7. Satu modul yang dibuat tertutup bayangan memiliki 18 sell, sehingga pengujian dilakukan dengan 19 buah skema tertutup radiasi tidak seragam yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengujian efek Dioda *Bypass*

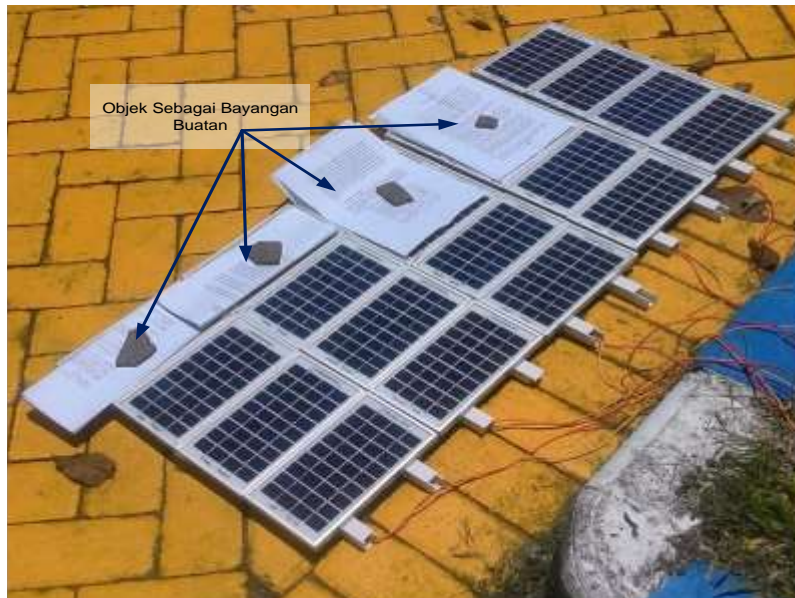
Skema <i>Shading</i>	Tegangan String (volt)	Arus String (mA)	Skema <i>Shading</i>	Tegangan String (volt)	Arus String (mA)
0% (0/18)	37,34	170	56% (10/18)	28,1	120
6% (1/18)	28,17	130	61% (11/18)	28,1	130
11% (2/18)	28,15	130	67% (12/18)	28,1	130
17% (3/18)	28,14	130	72% (13/18)	28,1	130
22% (4/18)	28,13	130	78% (14/18)	28,1	130
28% (5/18)	28,12	130	83% (15/18)	28,1	130
33% (6/18)	28,1	120	89% (16/18)	28,1	130
39% (7/18)	28,1	120	94% (17/18)	28,1	130
44% (8/18)	28,1	120	100% (18/18)	28,09	130
50% (9/18)	28,1	120			



Gambar 4.7 (a) Skema *Shaded* pada 1 Modul (b) Pengujian *Uniform* (c) Pengujian *Shaded* pada 1 Modul

4.1.3. Efek *Partially Shaded Condition*

Untuk pengujian PV *Farm* dalam kondisi *Partially Shaded* ditunjukkan pada gambar dokumentasi 4.8, dengan efek bayangan dibuat menggunakan benda yang dikondisikan menutupi beberapa modul dari PV *farm*. Untuk peletakan seluruh modul dalam keadaan ortogonal terhadap bidang jatuh dari radiasi matahari sama dengan pengujian ketika kondisi *uniform*. Pengambilan data dilakukan di tempat yang sama dengan pengambilan data sebelumnya.

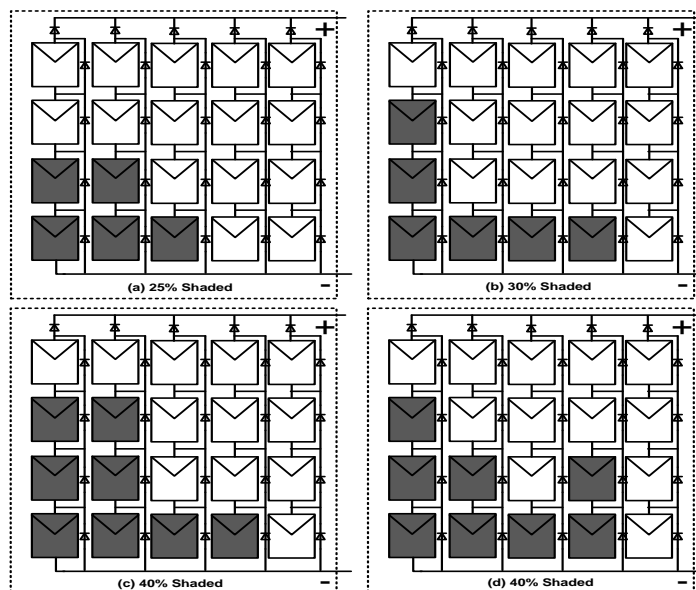


Gambar 4.8 Pengujian Karakteristik PV *Farm under Partially Shaded Condition*

Gambar 4.8 menunjukkan dokumentasi pengujian Karakteristik PV *Farm* ketika tertutup bayangan sebagian. Pengujian ini menggunakan 4 buah Skema tingkat prosentase tertutup bayangan yaitu tertutup bayangan sebesar 25%, 30 %, 40% dan 40%. Adapun data pengujian ini disajikan dalam tabel 4.3. Pengujian ini dilakukan pada diantara rentang pukul 11.00 sampai dengan 13.00 WIB dengan asumsi radiasi matahari masih sama. Masing – masing data pada tabel 4.3 akan diplot dalam bentuk kurva karakteristik arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan yang disajikan pada gambar 4.10 dan gambar 4.11.

Skema 25% tertutup bayangan menunjukkan bahwa dari total 20 modul PV yang digunakan dalam pengujian, sebanyak 5 modul tertutup oleh objek bayangan buatan. Modul-modul yang tertutup oleh objek bayangan buatan ini terdapat dalam beberapa string, yaitu 2 modul di masing-masing string pertama dan kedua, 1 modul di string ketiga dan string keempat serta string kelima adalah *uniform*. Untuk Skema 30%, sebanyak 6 modul tertutup oleh bayangan buatan. Modul-modul yang tertutup bayangan buatan adalah 3 modul di string pertama, 1 modul dimasing-masing string kedua, ketiga dan keempat, serta string kelima adalah *uniform*. Untuk Skema 40% sebanyak 8 modul tertutup oleh bayangan buatan. Modul-modul yang tertutup bayangan buatan adalah masing-masing 3 modul di string pertama dan kedua, masing-masing 1 modul di string ketiga dan

keempat, serta string terakhir adalah *uniform*. Skema pengujian bisa dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Skema Pengujian *Partially Shaded* : (a) 25% *Shaded* (b) 30% *Shaded* (c) 40% *Shaded* (d) 40% *Shaded*

Dari Skema pengujian yang ada pada gambar 4.9, disajikan data pengujian karakteristik PV *farm* pada tabel 4.3.

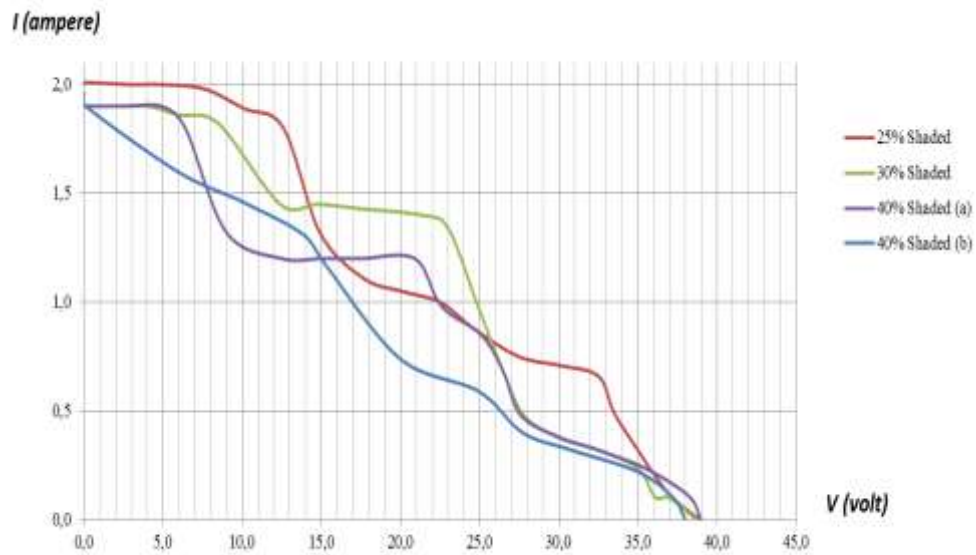
Tabel 4.3 Pengujian Karakteristik PV *Farm Partially Shaded*

Skema	Kondisi Beban	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
25%	<i>Open Circuit</i>	38,900	0,000	0,000
		37,200	0,100	3,720
		36,000	0,210	7,560
		35,000	0,320	11,200
		33,500	0,490	16,415
		32,500	0,660	21,450
		30,000	0,710	21,300
		27,450	0,750	20,588
		24,600	0,880	21,648
		22,500	1,000	22,500
		20,060	1,050	21,063
		17,650	1,110	19,592
		14,900	1,320	19,668
		12,600	1,800	22,680
		10,100	1,890	19,089
		7,600	1,980	15,048
		4,850	2,000	9,700
		3,000	2,000	6,000
	<i>Short Circuit</i>	0,000	2,010	0,000

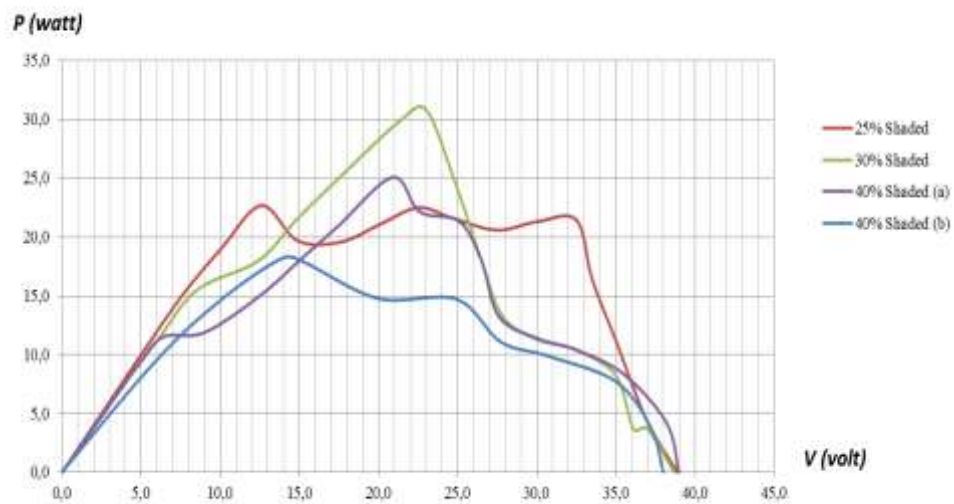
Tabel 4.3 Pengujian Karakteristik PV *Farm Partially Shaded* (lanjutan)

Skema	Kondisi Beban	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
30%	<i>Open Circuit</i>	38,700	0,000	0,000
		37,000	0,100	3,700
		35,000	0,235	8,225
		32,500	0,320	10,400
		29,900	0,380	11,362
		27,800	0,480	13,344
		26,500	0,680	18,020
		24,900	0,980	24,402
		23,000	1,340	30,820
		21,300	1,400	29,820
		17,400	1,430	24,882
		14,800	1,450	21,460
		12,400	1,450	17,980
		8,500	1,820	15,470
		6,000	1,860	11,160
		4,100	1,900	7,790
		2,100	1,900	3,990
	<i>Short Circuit</i>	0,000	1,900	0,000
40% (a)	<i>Open Circuit</i>	39,000	0,000	0,000
		38,200	0,110	4,202
		32,500	0,320	10,400
		30,000	0,380	11,400
		27,600	0,480	13,248
		26,500	0,680	18,020
		25,100	0,850	21,335
		22,600	0,980	22,148
		20,900	1,200	25,080
		17,500	1,200	21,000
		15,000	1,200	18,000
		12,500	1,200	15,000
		9,000	1,320	11,880
		6,400	1,800	11,520
		4,900	1,900	9,310
		2,500	1,900	4,750
	<i>Short Circuit</i>	0,000	1,900	0,000
40% (b)	<i>Open Circuit</i>	38,000	0,000	0,000
		37,240	0,100	3,724
		35,020	0,220	7,704
		30,800	0,320	9,856
		27,720	0,400	11,088
		24,940	0,590	14,715
		19,970	0,740	14,778
		15,280	1,170	17,878
		13,870	1,310	18,170
		10,040	1,460	14,658
		5,910	1,600	9,456
	<i>Short Circuit</i>	0,000	1,960	0,000

Dari tabel 4.3 diplot kurva karakteristik PV *farm* yang ditunjukkan oleh gambar 4.10 dan 4.11. Gambar 4.10 adalah kurva karakteristik I-V pada PV *Farm*, dan gambar 4.11 adalah kurva karakteristik P-V pada PV *Farm* dengan 4 buah skema tertutup bayangan yang berbeda.

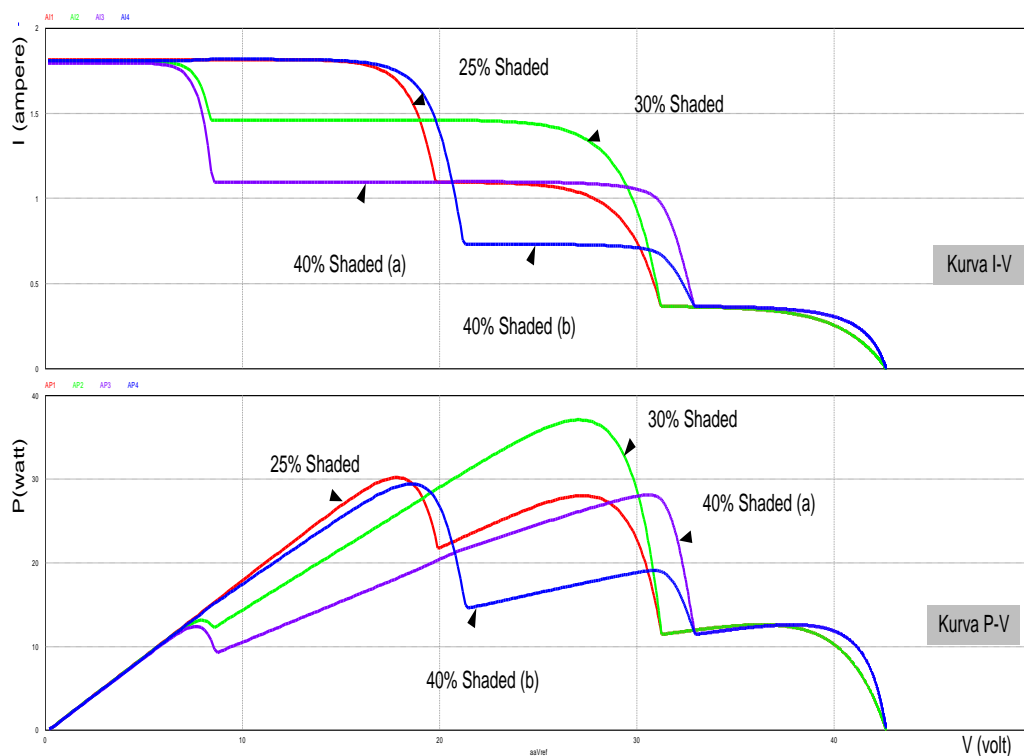


Gambar 4.10 Kurva Karakteristik I-V dari PV *Farm* dengan Efek *Partially Shaded*



Gambar 4.11 Kurva Karakteristik P-V dari PV *Farm* dengan Efek *Partially Shaded*

Kurva yang terbentuk ini relatif sama dengan kurva karakteristik yang diplotkan menggunakan software simulasi pada gambar 4.12 meskipun ada perbedaan pada besaran daya dan arusnya. Kurva yang terbentuk dari data Tabel 4.3 juga memiliki beberapa puncak sebagai *Local MPP* dan sebuah puncak sebagai *Global MPP*-nya. Meskipun kurva yang dihasilkan tidak terlalu mulus, namun kurva yang dihasilkan dari tabel 4.3 cukup menunjukkan bahwa efek dari tertutupnya sebagian area dari *PV farm* akan berimbas pada terbentuknya beberapa puncak daya pada level tegangan tertentu.

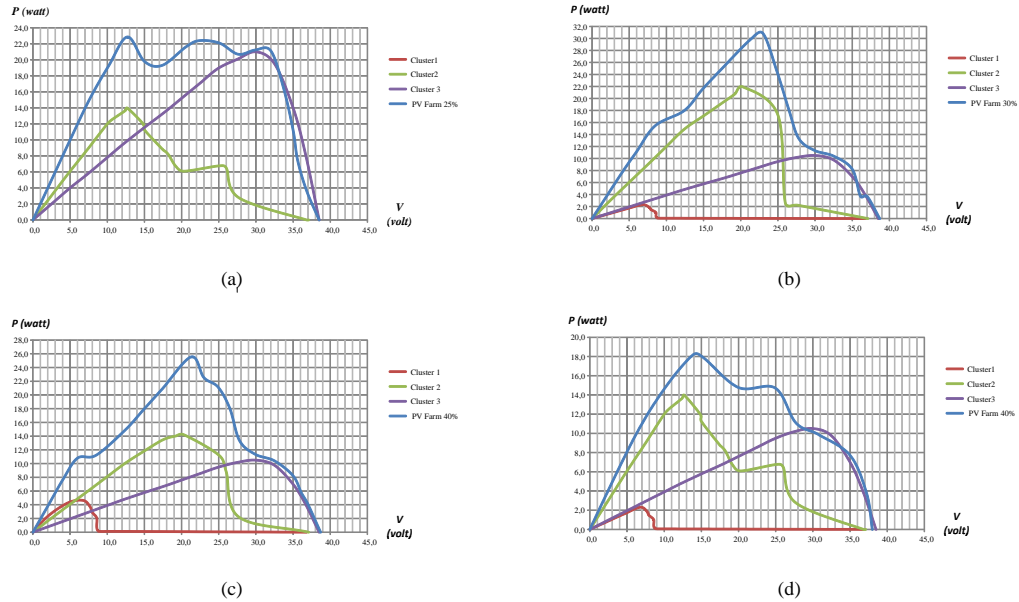


Gambar 4.12 Kurva Karakteristik I-V dan P-V dari *PV Farm* Simulasi dengan Efek *Partially Shaded*

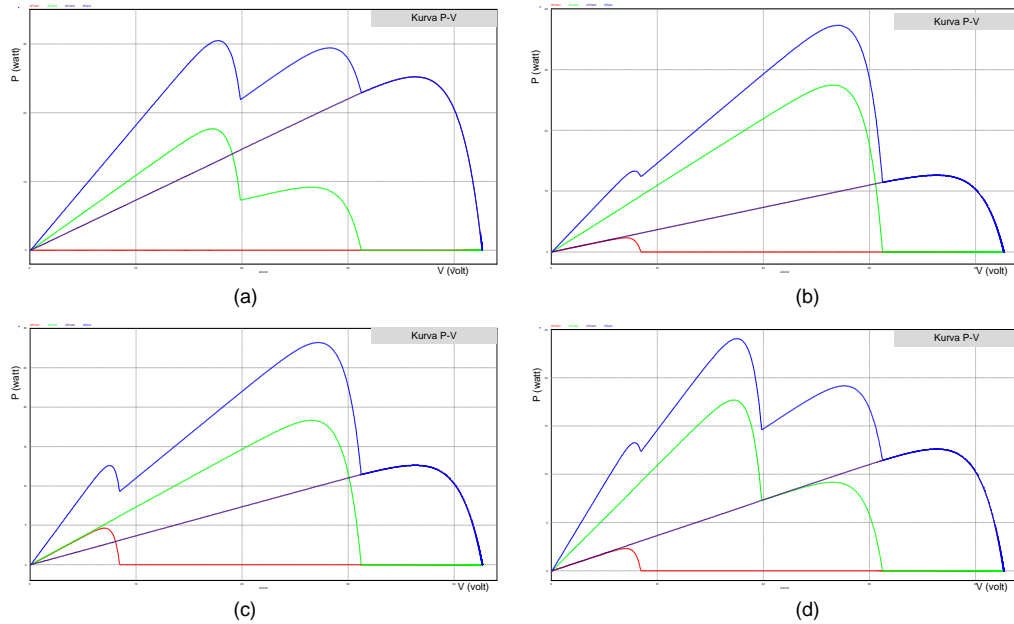
4.1.4. Karakteristik *PV Farm* Setelah *Clustering*

Setelah pengujian pada Sub-bab 4.1.1 sampai dengan 4.1.3 dilakukan, langkah berikutnya adalah menentukan karakteristik *PV* setelah metode *Cluster* diterapkan, plotting yang dilakukan adalah untuk menunjukkan kurva karakteristik P-V dan juga untuk mengetahui besaran nilai daya *available* dimasing-masing *Cluster*. Gambar 4.13 adalah kurva karakteristik dari *PV farm* setelah metode

Cluster untuk kondisi pengujian sebenarnya, dan Gambar 4.14 adalah kurva karakteristik dari PV *farm* setelah metode *Cluster* untuk kondisi simulasi.



Gambar 4.13 Kurva Pengujian Karakteristik P-V dari PV *Farm* setelah *Clustering* :
(a) 25% *Shaded* (b) 30% *Shaded* (c) 40% *Shaded* (d) 40% *Shaded*



Gambar 4.14 Kurva Simulasi Karakteristik P-V dari PV *Farm* setelah *Clustering* :
(a) 25% *Shaded* (b) 30% *Shaded* (c) 40% *Shaded* (d) 40% *Shaded*

Dari gambar 4.13 dan gambar 4.14 terdapat kemiripan bentuk antara kurva simulasi dan kurva pengujian, kurva ini menunjukkan bagaimana mekanisme *Cluster* terjadi. Tabel 4.4 adalah tabel daya *available* dimasing-

masing kondisi tertutup bayangan sebagian dan daya *available* dimasing-masing *Cluster* sebagai target algoritma MPPT.

Tabel 4.4 Data Daya Target MPPT untuk Masing-Masing Skema

Skema	$P_{available}$ Simulasi (watt)					$P_{available}$ Pengujian (watt)				
	Tanpa Cluster	Dengan Cluster				Tanpa Cluster	Dengan Cluster			
		Cls1	Cls2	Cls3	Total		Cls1	Cls2	Cls3	Total
Uniform	62,91	0	0	62,91	62,91	48,76	0	0	48,76	48,76
25%	30,46	0	17,6	25,08	42,68	23,86	0	13,97	20,07	34,04
30%	37,26	2,3	27,47	12,6	42,38	30,82	2,31	21,9	10,17	34,38
40%	28,2	4,62	18,3	12,5	35,42	25,56	4,69	14,21	10,17	29,07
40%	24,5	2,3	17,6	12,56	32,46	18,17	2,31	13,97	10,17	26,45

4.2 Hardware

Pengujian *hardware* memungkinkan deteksi dini ketidaksesuaian integrasi dengan perencanaan sistem secara keseluruhan. Pengujian *hardware* hanya meliputi pengujian peforma dari konverter yang digunakan disetiap *Cluster*.

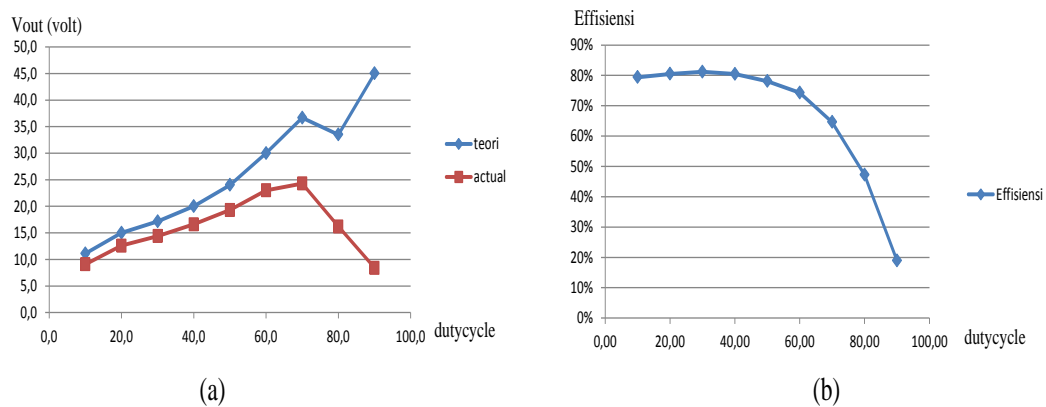
4.2.1 DC-DC Boost Konverter (Cluster 1)

Pengujian Konverter *Boost* adalah pengujian pertama yang dilakukan, pengujian ini untuk mengetahui karakteristik dari Konverter sudahkah sesuai dengan parameter yang dijadikan acuan, pembahasan dan perhitungan parameter telah disajikan dalam bab sebelumnya. Hasil pengujian berupa uji peforma Konverter *Boost* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Pengujian *Boost Converter* untuk *Cluster 1*

Duty	Vin (volt)	In (A)	Pin (W)	Vout Teori (V)	Vout aktual (V)	Iout (A)	Pout (W)	effisiensi (%)	error transfor-masi (%)
10,00	10,00	0,40	4,00	11,11	9,10	0,35	3,18	79,40%	18,10%
20,00	12,00	0,63	7,56	15,00	12,60	0,48	6,09	80,50%	16,00%
30,00	12,00	0,81	9,72	17,14	14,40	0,55	7,89	81,19%	16,00%
40,00	12,00	1,09	13,08	20,00	16,60	0,63	10,52	80,46%	17,00%
50,00	12,00	1,52	18,24	24,00	19,30	0,74	14,24	78,09%	19,58%
60,00	12,00	2,26	27,12	30,00	23,00	0,88	20,15	74,29%	23,33%
70,00	11,00	3,17	34,87	36,67	24,30	0,93	22,53	64,60%	33,73%
80,00	6,70	3,17	21,24	33,50	16,20	0,62	10,03	47,21%	51,64%
90,00	4,50	3,17	14,27	45,00	8,40	0,32	2,70	18,90%	81,33%

Dari tabel pengujian 4.5, kemudian diplot untuk disajikan dalam bentuk grafik performa dari Konverter *Boost*. Gambar 4.15 adalah kurva performa untuk konverter *Cluster 1*, Gambar 4.15 (a) Kurva Transformasi , (b) Kurva Efisiensi terhadap *dutycycle*.



Gambar 4.15 Pengujian Konverter *Boost* : (a) Performa Transformasi (b) Performa Efisiensi

Dari gambar 4.15 baik transformasi maupun efisiensi dari konverter masih terlihat cukup baik sampai dengan *dutycycle* 70%, namun ketika berada pada *dutycycle* lebih besar dari 70 % performa transformasi dan efisiensi menurun karena Konverter mulai saturasi.

4.2.2 DC-DC *Buck* Konverter (*Cluster 2*)

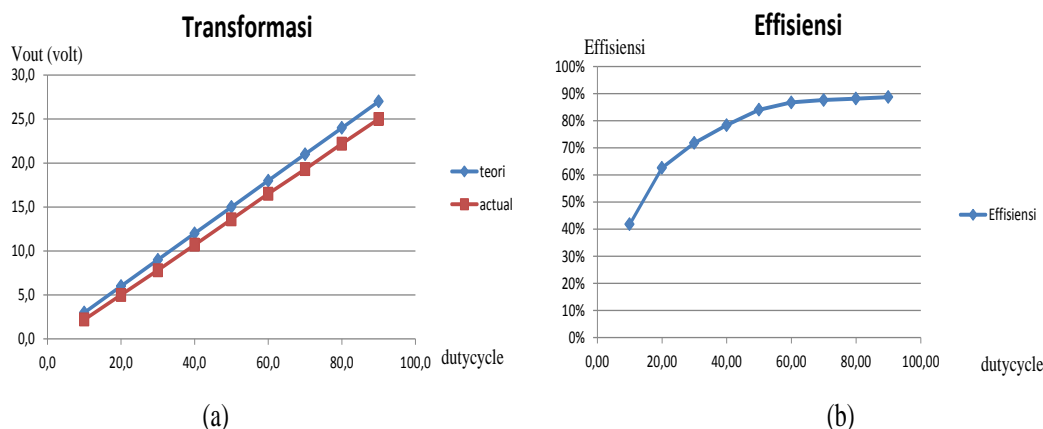
Pengujian Konverter *Buck* untuk *Cluster 2* adalah pengujian kedua yang dilakukan, pengujian ini juga untuk mengetahui karakteristik dan performa dari Konverter yang digunakan. Pembahasan dan perhitungan parameter telah disajikan dalam bab sebelumnya. Hasil data pengujian disajikan dalam Tabel 4.6. yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

Dari tabel pengujian 4.6, kemudian diplot untuk disajikan dalam bentuk grafik performa dari Konverter *Buck* sebagai topologi konverter *Cluster 2*. Gambar 4.16 adalah kurva performa untuk konverter *Cluster 2*, Gambar 4.16 (a) Kurva Transformasi , (b) Kurva Efisiensi terhadap *dutycycle*.

Tabel 4.6 Tabel Pengujian *Buck Converter* untuk *Cluster 2*

Duty	Vin (volt)	In (A)	Pin (W)	Vout Teori (V)	Vout terukur (V)	Iout (A)	Pout (W)	effisiensi (%)	error transformasi (%)
10,00	30,00	0,02	0,60	3,00	2,20	0,11	0,25	42%	27%
20,00	30,00	0,07	2,10	6,00	5,00	0,26	1,32	63%	17%
30,00	30,00	0,15	4,50	9,00	7,80	0,41	3,23	72%	13%
40,00	30,00	0,26	7,80	12,00	10,70	0,57	6,11	78%	11%
50,00	30,00	0,39	11,70	15,00	13,60	0,72	9,83	84%	9%
60,00	30,00	0,56	16,80	18,00	16,50	0,88	14,57	87%	8%
70,00	30,00	0,76	22,80	21,00	19,30	1,04	19,98	88%	8%
80,00	30,00	1,00	30,00	24,00	22,20	1,19	26,44	88%	8%
90,00	30,00	1,26	37,80	27,00	25,00	1,34	33,53	89%	7%

Dari gambar 4.16 baik transformasi maupun efisiensi dari koverter masih terlihat cukup baik sampai dengan *dutycycle* 90%, konverter belum menunjukkan saturasi diantara batas *dutycycle* 10% sampai dengan 90%. Akan tetapi untuk *dutycycle* dibawah 40%, terdapat penurunan efisiensi sampai dengan sekitar 42%.



Gambar 4.16 Pengujian Konverter *Boost* : (a) Peforma Transformasi (b) Performa Efisiensi

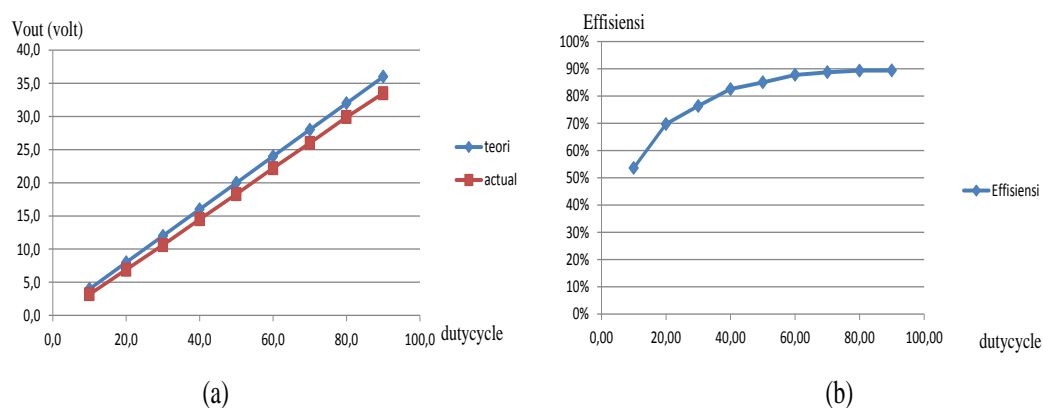
4.2.3 DC-DC *Buck* Konverter (*Cluster 3*)

Pengujian Konverter *Buck* untuk *Cluster 3* adalah pengujian berikutnya yang dilakukan. Pembahasan dan perhitungan parameter telah disajikan dalam bab sebelumnya. Hasil data pengujian disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel Pengujian *Buck Converter* untuk *Cluster 3*

duty	Vin (volt)	In (A)	Pin (W)	Vout Teori (V)	Vout terukur (V)	Iout (A)	Pout (W)	effisiensi (%)	error transformasi (%)
10,00	40,00	0,02	0,80	4,00	3,20	0,13	0,43	0,54	20,00
20,00	40,00	0,07	2,80	8,00	6,90	0,28	1,95	0,70	13,75
30,00	40,00	0,15	6,00	12,00	10,60	0,43	4,58	0,76	11,67
40,00	40,00	0,26	10,40	16,00	14,50	0,59	8,58	0,83	9,38
50,00	40,00	0,40	16,00	20,00	18,30	0,74	13,60	0,85	8,50
60,00	40,00	0,57	22,80	24,00	22,20	0,90	20,00	0,88	7,50
70,00	40,00	0,77	30,80	28,00	26,00	1,05	27,33	0,89	7,14
80,00	40,00	1,01	40,40	32,00	29,90	1,21	36,09	0,89	6,56
90,00	40,00	1,27	50,80	36,00	33,50	1,36	45,39	0,89	6,94

Dari tabel pengujian 4.7, kemudian diplot untuk disajikan dalam bentuk grafik performa dari Konverter *Buck* sebagai topologi konverter *Cluster 3*. Gambar 4.17 adalah kurva performa untuk konverter *Cluster 3*, Gambar 4.15 (a) Kurva Transformasi , (b) Kurva Efisiensi terhadap *dutycycle*.

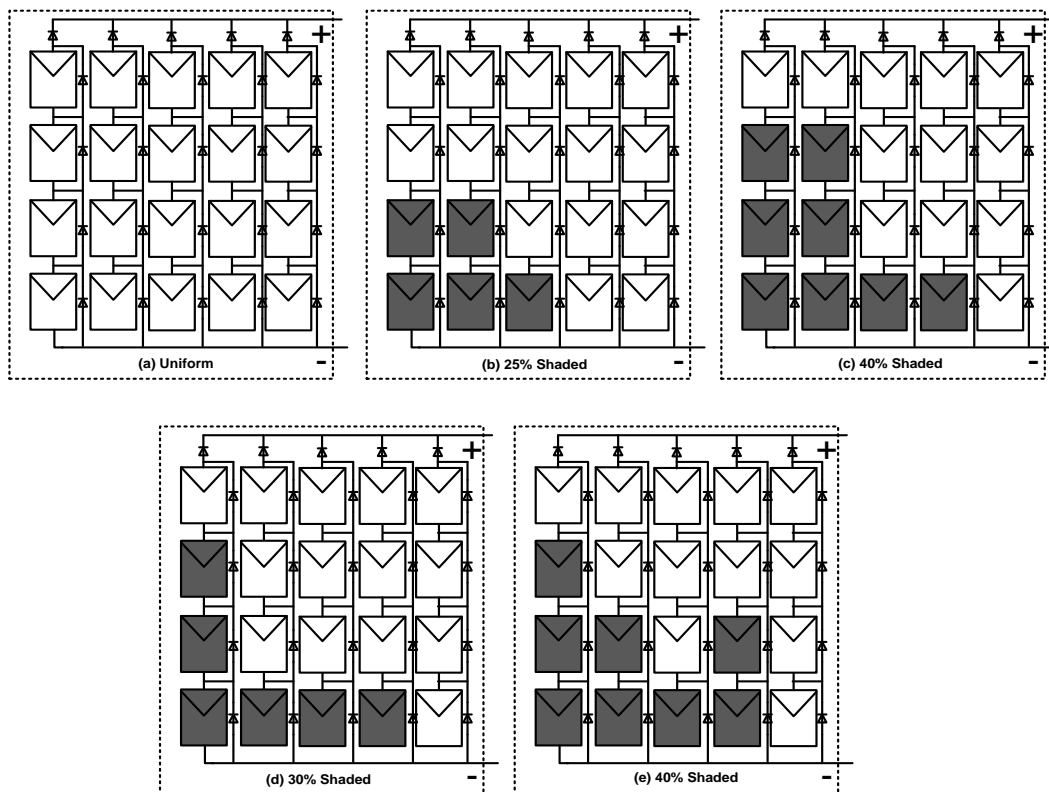


Gambar 4.17 Pengujian Konverter *Buck* : (a) Performa Transformasi (b) Performa Efisiensi

Dari gambar 4.17 baik transformasi maupun efisiensi dari konverter masih terlihat cukup baik sampai dengan *dutycycle* 90%, konverter belum menunjukkan saturasi diantara batas *dutycycle* 10% sampai dengan 90%. Akan tetapi untuk *dutycycle* dibawah 30%, terdapat penurunan efisiensi yang cukup signifikan sampai dengan sekitar 54%.

4.3 Simulator

Pengujian simulator dilakukan sebagai bukti awal bahwa hipotesis secara simulasi dengan kondisi yang ideal bisa digunakan sebagai metode baru untuk MPPT. Simulasi dilakukan menggunakan program software, pengujian simulator meliputi komparasi tiga buah metode, yaitu metode untuk *single* topologi menggunakan algoritma *Modified PnO* sebagai MPPT dan algoritma *Firefly* sebagai MPPT, dibandingkan dengan metode pendekatan baru MPPT menggunakan sistem *Cluster*. Untuk kasus yang digunakan sebagai pembanding adalah sebagaimana terlihat pada gambar 4.18. ada 5 buah Skema pembanding, yaitu 1 Skema *uniform*, dan 4 Skema kombinasi tertutup bayangan sebagian.

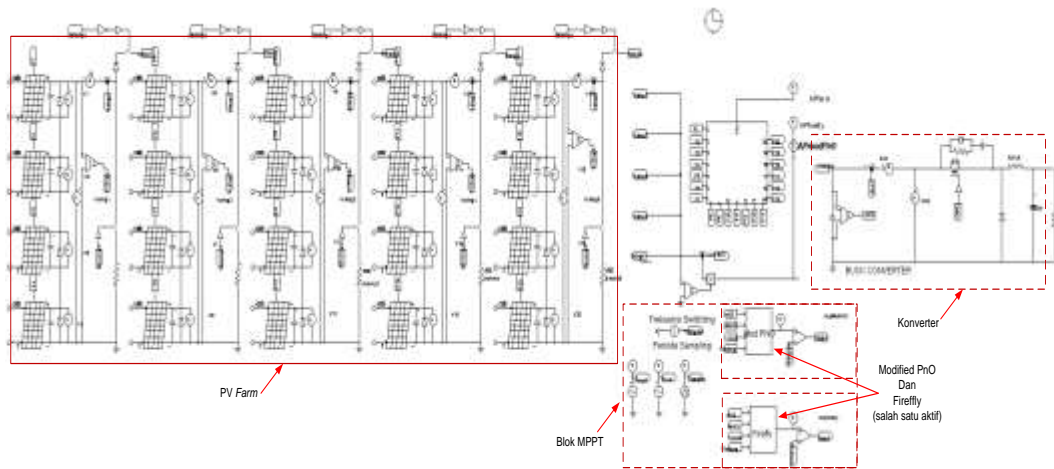


Gambar 4.18 Skema Pengujian PV Farm

4.3.1 Pengujian *Single* Topologi dengan Algoritma *Modified PnO*

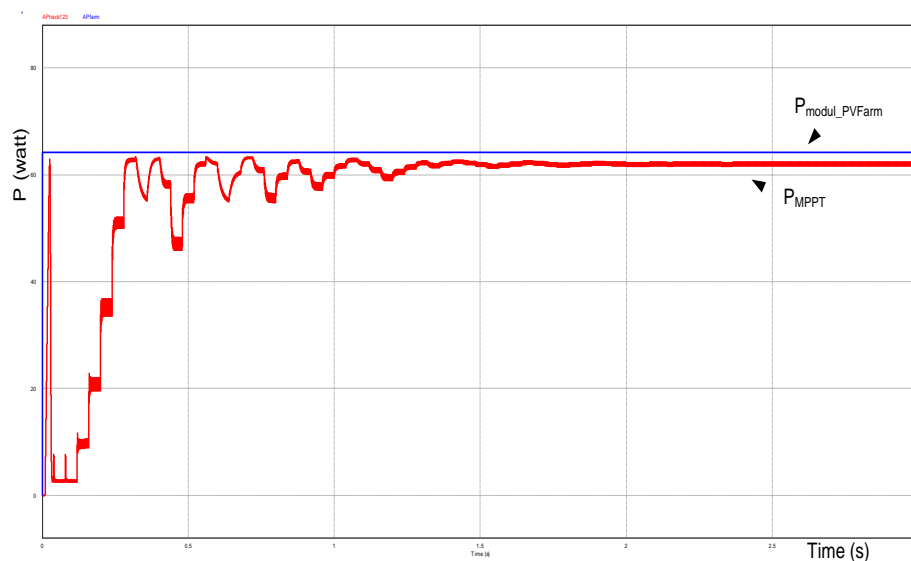
Pengujian Sistem MPPT untuk pemanenan daya menggunakan algoritma *Modified PnO* pada subbab ini adalah pengujian PV farm dengan 5 buah kasus dengan topologi tunggal. Rangkaian pengujian untuk simulasi dengan topologi

tunggal tanpa pendekatan metode *Cluster* dapat dilihat pada gambar 4.19. rangkaian ini juga digunakan untuk pengujian dengan Algoritma *Firefly*.



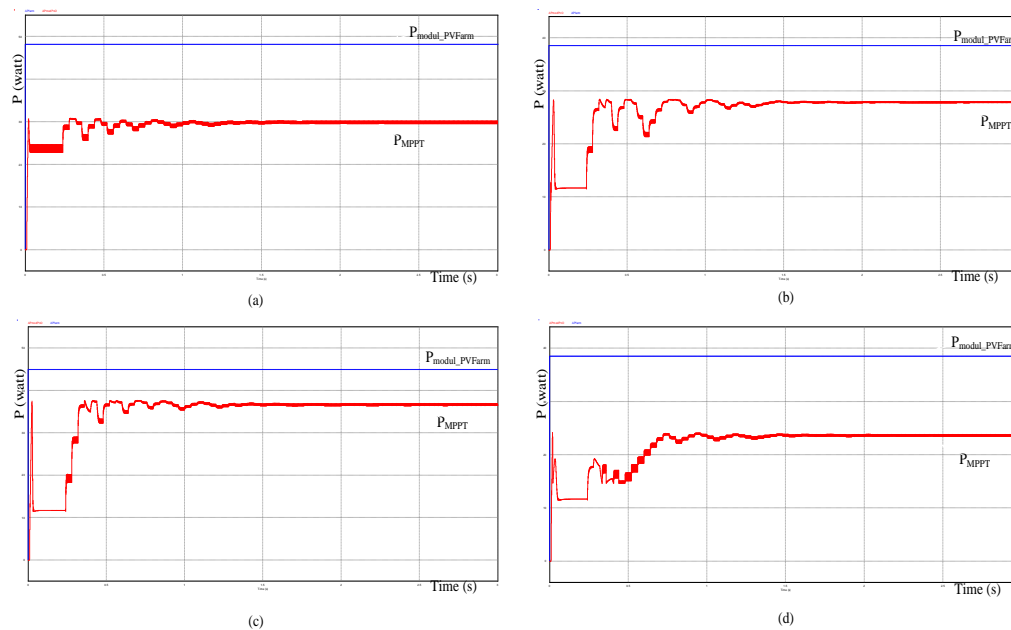
Gambar 4.19 Pengujian MPPT untuk *Single Topologi*

Dengan menggunakan modul *photovoltaic* yang telah dibahas pada BAB 3, kemudian dengan menggunakan variabel intensitas cahaya yang diatur sesuai dengan skema *shading* pada gambar 4.18, maka Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 adalah hasil dari pengujian menggunakan *Single Topologi* tanpa mekanisme *Cluster*. Parameter yang diamati adalah daya MPPT terhadap daya yang tersedia. Komparasi nilai akan dibahas pada sub bab 4.3.3.



Gambar 4.20 Pengujian MPPT dengan Algoritma *Modified PnO* untuk *Single Topologi* dengan Kasus *Uniform*

Untuk kasus *uniform*, daya yang menggunakan algoritma *Modified PnO* (warna merah) untuk satu topologi terlihat bisa mendekati dan mengikuti besarnya potensi daya PV farm (warna biru). Nilai efektif *steady state* yang ditentukan adalah 62,91 watt untuk potensi daya yang tersedia, sedangkan daya MPPT adalah sebesar 62,1 watt. Dari pengamatan untuk kasus *uniform*, algoritma PnO masih bisa bekerja dengan baik, sangat mendekati dengan potensi daya PV farm dan terdapat reduksi ripple daya pada saat *steady state*. Untuk kasus *uniform* Algoritma *Modified PnO* langsung menuju *Global MPP*-nya tanpa terjebak ke daerah *local MPP*.



Gambar 4.21 Pengujian MPPT dengan Algoritma *Modified PnO* untuk *Single Topologi* dengan Skema : (a) 25% *Shaded* (b) 40% *Shaded* (c) 30% *Shaded* (d) 40% *Shaded*

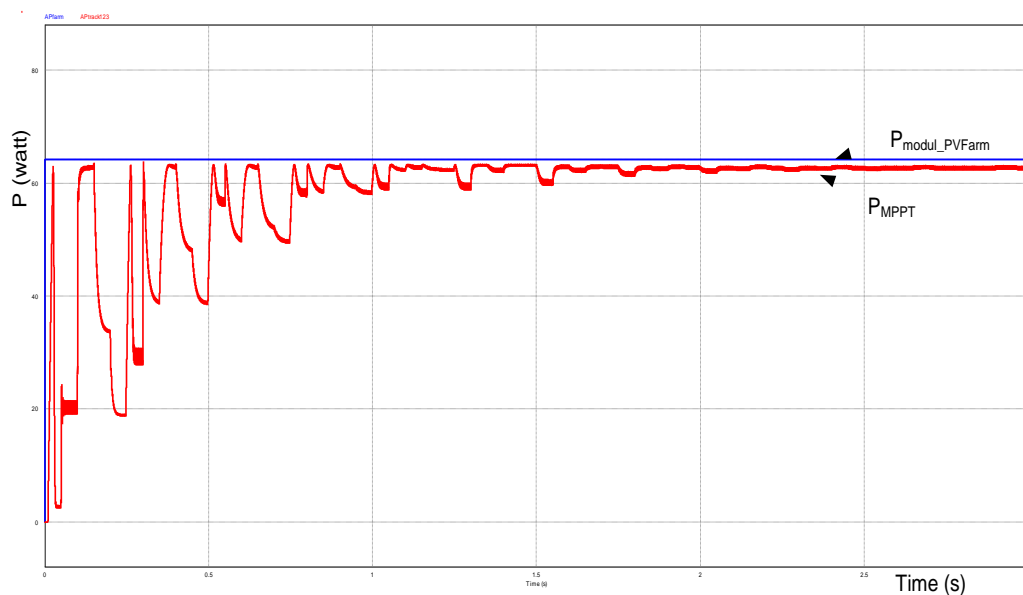
Untuk kasus tertutup bayangan sebagian sebagaimana dijelaskan pada gambar 4.18 dengan beragam prosentase hasilnya bisa dilihat pada gambar 4.21, dutycycle pada Algoritma *Modified PnO* sebelumnya telah diset pada nilai 50% untuk mempercepat proses penjejakan, dan kemungkinan juga akan membuat Algoritma *Modified PnO* terhindar dari terjebak pada *Local MPP*-nya. Ada empat buah Skema tertutup bayangan yang digunakan, Skema tersebut adalah tertutup bayangan 25%, 40%, 30% dan 40% dengan kombinasi yang berbeda. Adapun tabel hasil pengujian bisa dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Algoritma *Modified PnO* dengan *Single Topologi*

Skema	Daya MPPT (watt)	Daya Available (watt)	Efisiensi (%)
<i>uniform</i>	62,10	62,91	98,71%
<i>25% shaded</i>	30,10	30,46	98,82%
<i>40% shaded</i>	27,83	37,26	98,74%
<i>30% shaded</i>	36,79	28,2	98,69%
<i>40% shaded</i>	23,78	24,5	97,06%

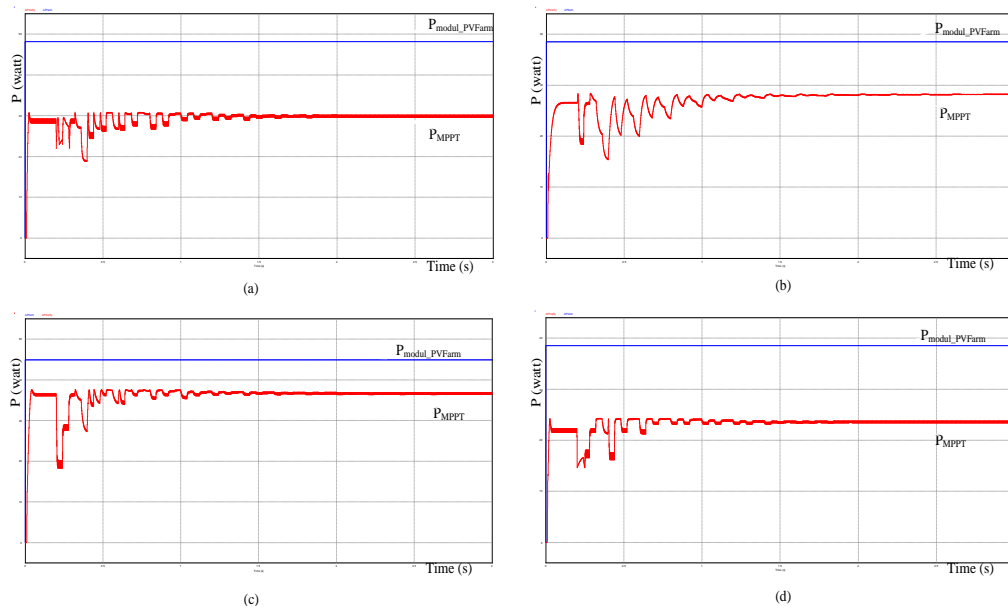
4.3.2 Pengujian *Single Topologi* dengan Algoritma *Firefly*

Pengujian Sistem MPPT dengan menggunakan algoritma *Firefly* pada adalah sama dengan pengujian pada subbab sebelumnya. Rangkaian pengujian untuk simulasi dengan topologi tunggal tanpa pendekatan metode *Cluster* dapat dilihat pada gambar 4.19 sebagaimana rangkaian yang digunakan dengan metode *Modified PnO*. Gambar 4.22 adalah gambar hasil dari pengujian menggunakan algoritma *Firefly* pada kondisi *uniform*.

**Gambar 4.22** Pengujian MPPT dengan Algoritma *Firefly* untuk *Single Topologi* dengan Kasus *Uniform*

Untuk kasus *uniform*, daya MPPT yang menggunakan algoritma *Firefly* (warna merah) untuk satu topologi terlihat bisa mendekati dan mengikuti besarnya daya modul PV farm (warna biru). Sama halnya dengan algoritma *Modified PnO*. Nilai efektif *steady state* yang ditargetkan adalah 62,91 watt untuk potensi daya

yang tersedia, sedangkan daya MPPT adalah sebesar 62,9 watt. Dari pengamatan untuk kasus *uniform*, algoritma *Firefly* juga bekerja dengan sangat baik, sangat mendekati dengan potensi daya PV *farm* dan terdapat reduksi *ripple* daya pada saat *steady state*. Meskipun dalam proses pencarian MPP lebih lambat dibandingkan dengan menggunakan metode *Modified PnO*. Namun untuk kasus *uniform* penggunaan Algoritma *Firefly* seakan-akan kurang begitu cepat responnya dalam mencapai konvergen dibandingkan dengan menggunakan Algoritma *Modified PnO*, meskipun memiliki pencapaian daya MPPT pada *steady state* yang lebih mendekati nilai daya *available*-nya.



Gambar 4.23 Pengujian MPPT dengan Algoritma *Firefly* untuk *Single Topologi* dengan Skema : (a) 25% *Shaded* (b) 40% *Shaded* (c) 30% *Shaded* (d) 40% *Shaded*

Untuk kasus tertutup bayangan sebagian sebagaimana dijelaskan pada gambar 4.18 dengan beragam prosentase hasilnya bisa dilihat pada gambar 4.23. Adapun tabel hasil pengujian bisa dilihat pada tabel 4.9.

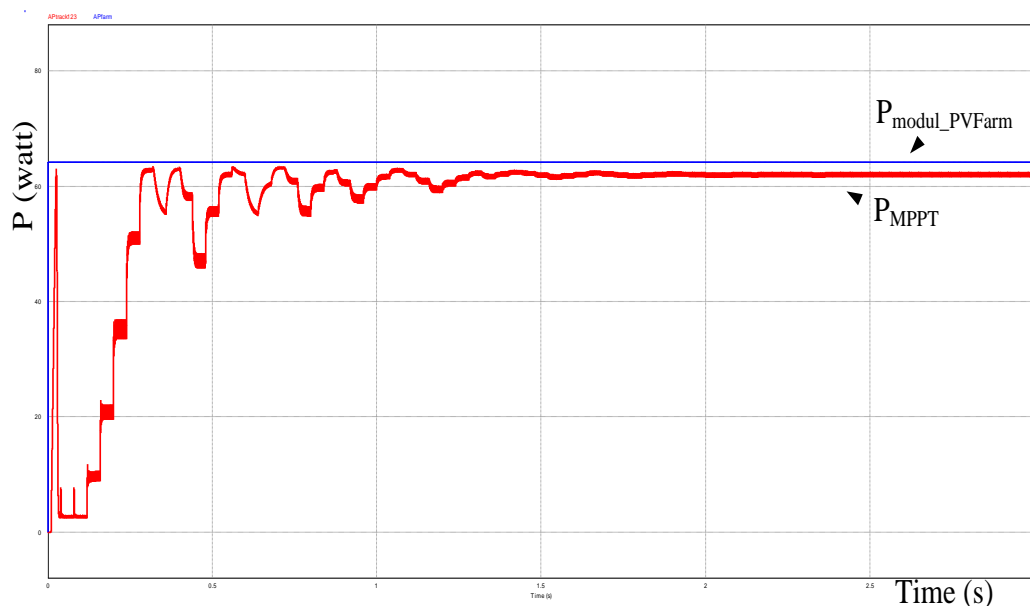
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Algoritma *Firefly* dengan *Single Topologi*

Skema	Daya MPPT (watt)	Daya Available (watt)	Efisiensi (%)
<i>uniform</i>	62,9	62,91	99,98%
25% <i>shaded</i>	31,00	30,46	99,15%
40% <i>shaded</i>	28,19	37,26	98,79%
30% <i>shaded</i>	36,81	28,2	99,96%
40% <i>shaded</i>	23,81	24,5	97,18%

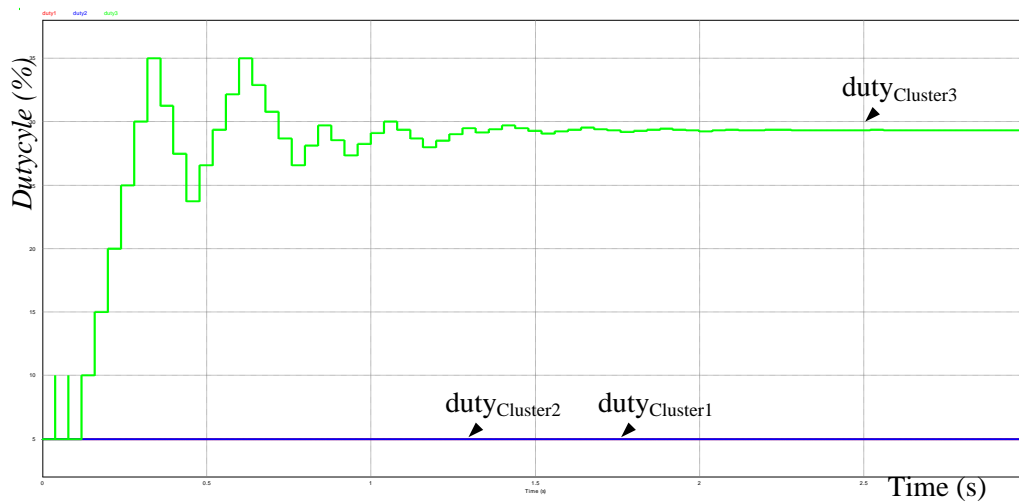
Untuk pengujian dengan menggunakan algoritma *Firefly*, kenaikan efisiensi jika dibandingkan dengan metode *Modified PnO* tidak terlalu signifikan. Hal ini terjadi karena baik algoritma *Firefly* dan *Modified PnO* sama-sama berada pada titik MPP dari kurva karakteristik PV sewaktu mendapatkan efek tertutup bayangan sebagian. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, bahwa untuk algoritma *Modified PnO* nilai *dutycyle* awalnya langsung diset pada 50% untuk mempercepat proses penjejakan daya puncak, hal ini sangat memungkinkan algoritma *Modified PnO* terhindar dari terjebak pada nilai *Local MPP*.

4.3.3 Pengujian Pendekatan MPPT Baru Berbasis *Cluster*

Pengujian Sistem MPPT untuk pemanenan daya menggunakan pendekatan berbasis *Cluster*, dengan kombinasi tiga buah konverter yang tertanam algoritma *Modified PnO* untuk *Cluster 1* dan *Cluster 3* serta algoritma *Firefly* untuk *Cluster 2* disajikan dalam sub bab ini. Rangkaian pengujian untuk simulasi dengan dengan tiga buah konverter dibahas pada BAB 3 dan bisa dilihat pada gambar 3.2. Gambar 4.24 adalah gambar respon daya pada pengujian MPPT dengan pendekatan *Cluster*, kemudian untuk gambar 4.25 adalah respon *dutycyle* dimasing-masing konverter ketika mencari nilai daya puncak.

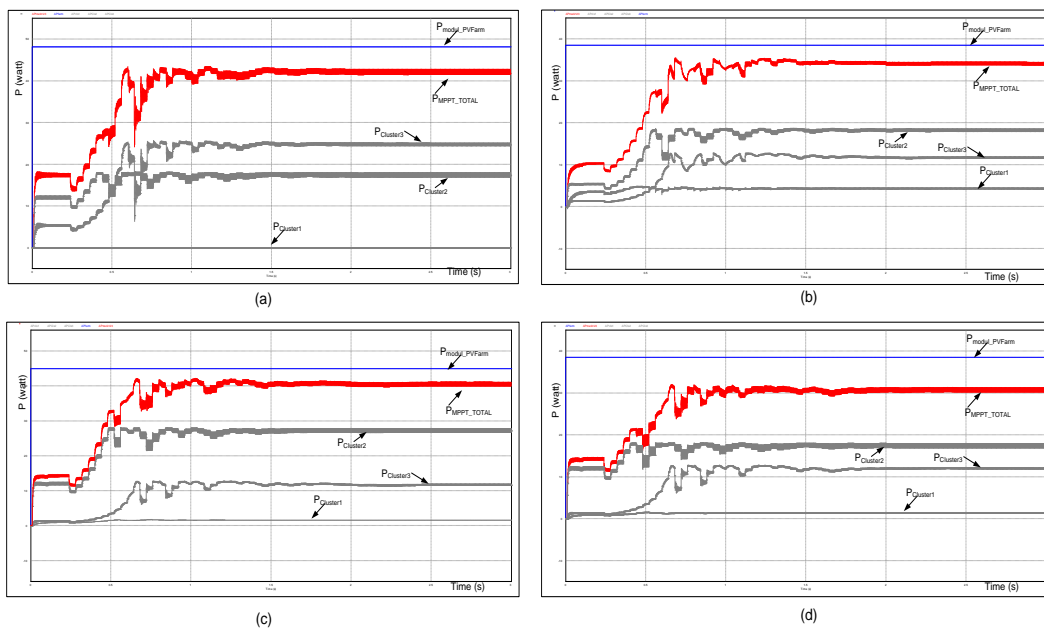


Gambar 4.24 Respon Daya pada Pengujian MPPT baru dengan Pendekatan *Cluster* untuk Kondisi *Uniform*



Gambar 4.25 Respon *dutycycle* pada Pengujian MPPT baru dengan Pendekatan *Cluster* untuk Kondisi *Uniform*

Untuk kasus *uniform*, daya MPPT menggunakan pendekatan *Cluster* (warna merah) terlihat bisa menjejak besarnya potensi daya PV *farm* (warna biru). Sama halnya dengan dua pendekatan sebelumnya, untuk kondisi *uniform*, semua metode tidak menemukan persoalan yang kompleks. Nilai efektif *steady state* yang ditentukan adalah 62,91 watt untuk potensi daya yang tersedia, sedangkan daya MPPT adalah sebesar 62,20 watt..

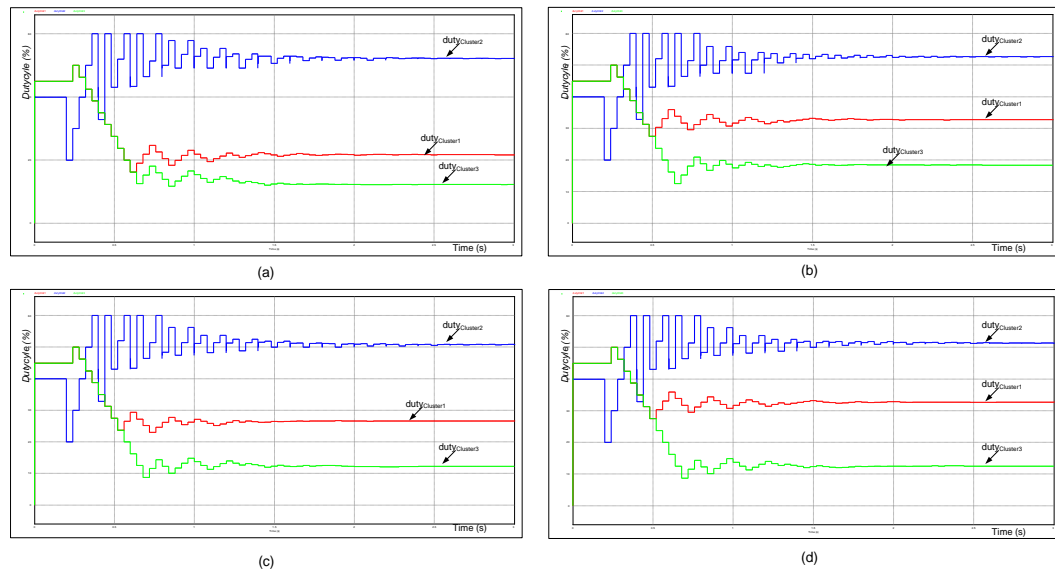


Gambar 4.26 Respon Daya pada Pengujian MPPT dengan pendekatan *Cluster* menggunakan tiga buah topologi konverter dengan Skema : (a) 25% *Shaded* (b) 40% *Shaded* (c) 30% *Shaded* (d) 40% *Shaded*

Dari pengamatan untuk kasus *uniform*, pendekatan *Cluster* juga bekerja dengan sangat baik, sangat mendekati dengan potensi daya PV *farm* dan terdapat reduksi ripple daya pada saat *steady state*. Untuk kasus dengan variasi tertutup bayangan sebagian bisa dilihat pada gambar 4.26. Untuk kurva warna merah adalah daya total *Cluster* 1, 2 dan 3, untuk kurva warna abu-abu adalah daya MPP dimasing-masing *Cluster*, sedangkan kurva berwarna biru adalah nilai *available* target yang dicapai oleh metode MPPT

Untuk pengujian dengan menggunakan pendekatan *Cluster*, terjadi kenaikan daya yang signifikan jika dibandingkan dengan 2 metode sebelumnya. Hal ini merupakan pembuktian hipotesis sebelumnya bahwa jika dengan menggunakan pendekatan *Cluster* daya yang bisa dipanen adalah total daya dari masing-masing *Cluster*-nya [3].

Gambar 4.27 adalah respons *dutycycle* pada masing *Cluster* ketika algoritma masing-masing MPPT disetiap topologi sedang melakukan penjejakan.



Gambar 4.27 Respon *dutycycle* pada Pengujian MPPT dengan pendekatan *Cluster* menggunakan tiga buah topologi konverter dengan Skema : (a) 25% *Shaded* (b) 40% *Shaded* (c) 30% *Shaded* (d) 40% *Shaded*

Dan daya total ini secara perhitungan untuk kasus tertutup bayangan sebagian selalu lebih besar jika dibandingkan dengan metode MPPT dengan topologi tunggal. Hasil pengujian menggunakan pendekatan *Cluster* bisa dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian MPPT dengan Pendekatan *Cluster*

Skema <i>Shaded</i>	Daya MPPT				Daya <i>Available</i> (watt)	Efisiensi (%)
	$P_{Cluster1}$ (watt)	$P_{Cluster2}$ (watt)	$P_{Cluster3}$ (watt)	P_{total} (watt)		
<i>Uniform</i>	0,00	0,00	62,20	62,20	62,91	98,87%
25%	0,00	17,34	24,67	42,01	42,68	98,43%
40%	4,39	18,07	11,63	34,09	42,38	98,63%
30%	1,59	27,59	11,82	41,00	35,42	99,38%
40%	1,35	17,54	12,05	30,94	32,46	98,86%

Pada tabel 4.10 terlihat bahwa nilai efisiensi penggunaan pendekatan *Cluster* jika dibandingkan dengan dua metode sebelumnya kurang lebih adalah sama. Namun demikian dengan adanya peningkatan daya yang dikejar, maka secara otomatis terdapat kenaikan daya pada sistem yang diusulkan ini. Tabel 4.11 adalah tabel perbandingan dua metode sebelumnya dengan pendekatan *Cluster*. Metode 1 adalah penggunaan algoritma *Modified PnO* sebagai MPPT untuk *single* Topologi, Metode 2 adalah penggunaan algoritma *Firefly* juga untuk *single* Topologi, dan metode 3 adalah metode pendekatan *Cluster* dengan algoritma *Modified PnO* untuk *Cluster uniform* dan algoritma *Firefly* untuk *Cluster non-uniform*. Untuk referensi besaran efisiensi menggunakan daya target yang terdapat pada kurva karakteristik yang telah ter-*cluster* pada tabel 4.4.

Tabel 4.11 Komparasi metode MPPT dengan pendekatan *Cluster*

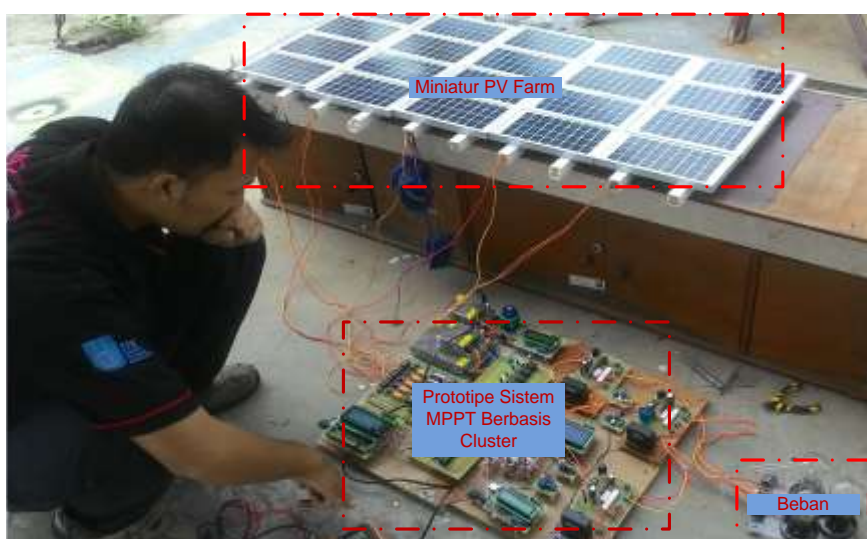
Skema <i>Shaded</i>	Daya referensi	Metode1		Metode2		Metode3	
		P_{MPPT} (watt)	efisiensi (%)	P_{MPPT} (watt)	efisiensi (%)	P_{MPPT} (watt)	efisiensi (%)
Uniform	62,91	62,10	98,71%	62,90	99,98%	62,20	98,87%
25%	42,68	30,10	70,52%	31,00	72,63%	42,01	98,43%
30%	42,38	36,79	86,81%	36,81	86,86%	41,80	98,63%
40%	35,42	27,83	78,57%	28,19	79,59%	35,20	99,38%
40%	32,46	23,78	73,26%	23,81	73,35%	32,09	98,86%
Rata-rata Efisiensi		81,58%		82,48%		98,83%	
Rata-rata Daya MPPT (watt)		36,12		36,542		42,66	

Pada tabel 4.11, adalah tabel komparasi metode MPPT sebelumnya dengan metode MPPT baru dengan pendekatan *Cluster*. Nilai efisiensi yang diamati adalah nilai efisiensi daya MPPT dibandingkan dengan daya referensi

Dari tabel 4.11 terlihat bahwa disemua skema *shaded* metode pendekatan *Cluster* selalu mencapai nilai efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya. Sehingga terbukti bahwa dengan pendekatan *Cluster* dicapai pemanenan daya yang lebih efisien jika dibandingkan dengan metode-metode MPPT yang menggunakan topologi konverter tunggal. Nilai efisiensi rata-rata untuk Metode 3 adalah 98,83%. Disamping itu untuk rata-rata daya MPPT juga terdapat kenaikan jika dibandingkan dengan daya rata-rata metode lain.

4.4 Pengujian Prototipe Sistem MPPT Baru pada PV Farm Berbasis Cluster

Pada pengujian sistem ini merupakan pengujian seluruh sistem integrasi dari hardware dan mikrokontroller yang telah ditanami algoritma pencari nilai daya puncak, *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk miniatur *Photovoltaic Farm* statis. Terdapat lima skema pengujian untuk masing-masing metode MPPT sesuai dengan gambar 4.16, yaitu satu skema untuk kondisi *uniform*, dan empat skema tertutup bayangan sebagian. Gambar 4.27 adalah salah satu dokumentasi pengujian prototipe Sistem MPPT Baru pada PV Farm berbasis *Cluster*. Pengujian dilakukan di lantai 4 gedung B jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada pukul 11.00 WIB sampai dengan 13.30 WIB, dengan kondisi cuaca tidak terlalu cerah karena sinar matahari tertutup awan tipis secara merata.



Gambar 4.28 Pengujian Prototipe Pendekatan MPPT Baru dengan Metode *Cluster*

Dari pengujian yang dilakukan, ada tiga buah metode yang dibandingkan. Metode pertama adalah metode menggunakan algoritma MPPT *modified* PnO, untuk *single* Konverter, kemudian Algoritma MPPT *Firefly* juga untuk *single* Konverter, serta yang terakhir adalah pendekatan MPPT baru berbasis *Cluster* dengan 3 buah konverter. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 4.12 sampai dengan tabel 4.15, data yang disajikan adalah data daya ketika sistem telah *steady state*.

Tabel 4.12 adalah tabel pengujian prototipe dengan menggunakan algoritma *Modified* PnO pada *Single* Topologi. Pada pengujian ini nilai daya *available* adalah total dari daya *nameplate* yang tidak terkena efek tertutup bayangan sebagian. Effisiensi adalah perbandingan daya MPPT yang dihasilkan dengan daya *available*. Pada pengujian ini, effisiensi terbaik terjadi pada skema 30% *shaded* yang mencapai 64,83% dengan nilai daya MPPT sebesar 16,57 watt. Untuk effisiensi terendah terjadi pada skema 40% *shaded* yang mencapai 40,49% dengan nilai daya MPPT sebesar 12,48 watt.

Tabel 4.12 Pengujian Algoritma *Modified* PnO sebagai MPPT dengan *Single* Topologi

Skema <i>Shaded</i>	Daya MPPT (watt)	Daya <i>Available</i> (watt)	Effisiensi (%)
<i>Uniform</i>	26,88	48,762	55,12%
25%	13,03	23,86	54,61%
40%	12,48	30,82	40,49%
30%	16,57	25,56	64,83%
40%	9,95	18,17	54,76%

Tabel 4.13 adalah tabel pengujian prototipe dengan menggunakan algoritma *Firefly* pada *Single* Topologi. Pada pengujian ini, effisiensi terbaik juga terjadi pada skema 30% *shaded* yang mencapai 68,23% dengan nilai daya MPPT sebesar 17.44 watt. Kemudian untuk effisiensi terendah terjadi pada skema 40% *shaded* yang mencapai 39,94% dengan nilai daya MPPT sebesar 12,31 watt.

Tabel 4.13 Pengujian Algoritma *Firefly* sebagai MPPT dengan *Single* Topologi

Skema <i>Shaded</i>	Daya MPPT (watt)	Daya Available (watt)	Efisiensi (%)
<i>Uniform</i>	27,59	48,762	56,58%
25%	13,96	23,86	58,51%
40%	12,31	30,82	39,94%
30%	17,44	25,56	68,23%
40%	10,73	18,17	59,05%

Tabel 4.14 adalah tabel pengujian prototipe dengan pendekatan MPPT baru berbasis *Cluster*. Pada pengujian ini, efisiensi terbaik terjadi pada skema 40% *shaded* yang mencapai 77,27% dengan nilai daya MPPT sebesar 14,04 watt. Namun demikian, jika dibandingkan dengan dua metode sebelumnya untuk skema tertutup bayangan sebagian, terjadi kenaikan prosentase efisiensi untuk semua skema tertutup bayangan sebagian, adapun efisiensi terendah terjadi pada skema tertutup bayangan 40% dengan nilai efisiensi 49,48% dengan nilai dayanya adalah 15,25 watt. Sehingga sampai dengan titik ini jika pengamatan dengan referensi daya *available* kurva yang telah di-*cluster*, terbukti bahwa dengan menggunakan pendekatan *Cluster*, baik dengan simulasi maupun implementasi, adalah lebih baik jika dibandingkan dengan metode algoritma MPPT untuk topologi konverter tunggal.

Tabel 4.14 Pengujian Prototipe Pendekatan MPPT Baru Berbasis *Cluster*

Skema <i>Shaded</i>	Daya MPPT (watt)				Daya Available (watt)	Efisiensi (%)
	$P_{Cluster1}$ (watt)	$P_{Cluster2}$ (watt)	$P_{Cluster3}$ (watt)	P_{total} (watt)		
<i>Uniform</i>	0	0	27,28	27,28	48,762	55,95%
25%	0	7,26	10,5	17,76	23,86	74,43%
40%	2,01	8,14	5,1	15,25	30,82	49,48%
30%	0,69	13,14	5,16	18,99	25,56	74,30%
40%	0,57	7,76	5,71	14,04	18,17	77,27%

Tabel 4.15 adalah tabel yang menyajikan data komparasi semua metode yang diujikan dibandingkan dengan metode yang diusulkan. Metode 1 dan metode 2 adalah metode MPPT dengan menggunakan *single* Topologi konverter yang memiliki algoritma *Modified* PnO dan *Firefly*, metode 3 adalah metode yang diusulkan, yaitu metode MPPT Baru berbasis *Cluster*. Dari tabel 4.15 terlihat

lebih jelas bahwa di hampir semua skema, metode 3 mencapai efisiensi yang lebih baik. Disamping itu juga terdapat rata-rata kenaikan daya yang lebih besar jika dibandingkan dengan dua metode sebelumnya.

Tabel 4.15 Komparasi Semua Metode MPPT dengan Dengan MPPT Berbasis *Cluster*

Skema <i>Shaded</i>	Daya <i>Available</i> (watt)	Metode1		Metode2		Metode3	
		P _{MPPT} (watt)	effisiensi (%)	P _{MPPT} (watt)	effisiensi (%)	P _{MPPT} (watt)	effisiensi (%)
Uniform	48,762	26,88	55,12%	27,59	56,58%	27,28	55,95%
25%	23,86	13,03	54,61%	13,96	58,51%	17,76	74,43%
40%	30,82	12,48	40,49%	12,31	39,94%	15,25	49,48%
30%	25,56	16,57	64,83%	17,44	68,23%	18,99	74,30%
40%	18,17	9,95	54,76%	10,73	59,05%	14,04	77,27%
Rata-rata Effisiensi		53,96%		56,46%		66,29%	
Rata-rata Daya		15,782		16,406		18,664	

Nilai efisiensi yang relatif rendah jika dibandingkan dengan daya *available*, sangat dimungkinkan karena banyak faktor tidak ideal yang terlibat dalam pengujian implementasi protipe ini. Faktor – faktor tidak ideal ini meliputi:

- Intensitas radiasi yang tidak mencapai kondisi rating.
- Temperatur permukaan modul PV lebih besar dari 25°C.
- Kesalahan paralaks pembacaan alat ukur.
- Nilai kepresisian ADC untuk mikrokontroller yang kurang dari 100%
- Sensor arus dan sensor tegangan yang kurang akurat (terlebih sensor arus ACS 712 5 A yang nilai pembacaanya cenderung fluktuatif meskipun arus terbaca konstan pada alat ukur amperemeter pembanding).
- Rugi-rugi pada komponen yang digunakan.
- Rugi disipasi daya pada konduktor yang digunakan.

Meskipun demikian, baik secara simulasi dan implementasi pada prototipe, telah terbukti bahwa dengan membagi area pencarian daya puncak berdasarkan level tegangan ketika terjadi *shading*, bisa meningkatkan efisiensi pemanenan daya dari *Photovoltaic Farm* jika dibandingkan dengan metode algoritma MPPT menggunakan topologi konverter tunggal.

BAB 5

PENUTUP

Setelah serangkaian proses perencanaan, simulasi, implementasi, pengujian dan analisis, penarikan kesimpulan dan harapan untuk penelitian berikutnya disajikan dalam bab ini.

5.1 Kesimpulan

1. Diperlukan sebuah metode baru untuk membuat pemanenan energi pada *PV Farm* menjadi lebih dekat dengan potensi daya yang bisa dihasilkannya, terutama untuk kejadian tertutup bayangan sebagian.
2. Metode Pendekatan MPPT Baru Berbasis *Cluster*, mampu meningkatkan efisiensi pemanenan daya pada *PV Farm* jika dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya, terlebih untuk skema tertutup bayangan sebagian.
3. Secara ideal jumlah *Cluster* yang terbentuk adalah sejumlah dengan banyaknya modul pada satu *string*, hal ini bertujuan supaya area pencarian nilai daya optimal pada *Cluster* yang terbentuk menjadi *uniform* dengan hanya satu buah nilai *Global MPP*.
4. Metode MPPT berbasis *Cluster* yang terbukti dalam simulasi dan implementasi bisa meningkatkan efisiensi pemanenan daya pada *PV Farm* dengan referensi daya *available* adalah daya ketika sudah ter-*cluster*, secara simulasi dan secara implementasi sebesar rata-rata 98,83% dan 66,29%. Dan efisiensi ini lebih besar jika dibandingkan dengan dua metode pembanding. Disamping itu juga terdapat kenaikan daya rata-rata jika menggunakan pendekatan *Cluster* dibandingkan dengan dua metode pembanding sebelumnya.

5.2 Saran

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi senantiasa melalui proses yang panjang, diperlukan pemikiran kreatif, mendalam dan metode pengujian hipotesis yang lebih cermat. Namun sebuah pemikiran dan penelitian tidak selalu menghasilkan sebuah kesempurnaan, begitu pun dengan penelitian ini. Ada beberapa harapan dan saran yang bisa dirumuskan selama proses pengerjaan penelitian ini yaitu:

1. Diperlukan *team-research* yang solid dan fokus tentang pemanfaatan radiasi matahari sebagai energi alternatif, mengingat potensi paparan radiasi sinar matahari lebih dari cukup untuk memenuhi semua kebutuhan energi manusia.
2. Diperlukan pengujian yang lebih kompleks, untuk kasus-kasus tertutup bayangan awan total dengan dengan intensitas radiasi matahari merata sangat dibawah dari kondisi rating.
3. Sebaiknya penelitian dan riset tentang energi matahari dilakukan pada musim kemarau, atau pada laboratorium dengan dukungan instrumentasi *photovoltaic*, sehingga meminimalisasi variabel pengganggu berupa kondisi cuaca yang menyebabkan perubahan intensitas radiasi matahari pada permukaan panel *photovoltaic*.
4. Diperlukan uji respon *transient*, untuk proses *switching dummy load* dan perpindahan mekanisme *Cluster* untuk membangun sistem yang lebih handal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antonious, R., Ashari, M., & Riawan, Dedet C. (2014). *Maximum power point control for standalone PV system using fuzzy sliding mode control*. IEEE Transaction on International Conference (ICITACEE).
- [2] Logeswaran, T., & Kumar, A. (2014). *A Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for PV Systems under Uniform and Non-Uniform irradiances*. Energy Procedia 54.
- [3] Antonius, R., Ashari, M., & Riawan, Dedet C. (2015). *Optimization of Photovoltaic Farm under Partial Shadding Effects using Artificial Intelligent Based Matrix Switch Controller* . IEEE Transaction on International Conference (ICITACEE).
- [4] Cui, Y., Yao, W., & Luo, J. (2012). *A Research and Improvement on a Maximum Power Point Tracking Method for PV System under Partially Shaded Conditions*. International WorkshoP
- [5] K. Sundareswaran, S. Peddapati, S. Palani, “MPPT of PV Systems Under Partial *Shaded* Conditions Through a Colony of FlashingFireflies”, IEEE Trans. Energy Conversion (2014).
- [6] X.-S. Yang, Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm, Beckington, U.K.: Luniver Press, 2008.
- [7] Seodibyo. Ciptian Weriend Priananda, *Maximum Power Point Tracker Photovoltaic using Modified Bisection Method* ,ICITACEE 2014.
- [8] Batzelis, E., Dolara, A., Foiadelli, F., Lazaroiu, G., & Leva, S. (2014). *An Explicit PV String Model Based on the Lambert Function and Simplified MPP Expression for Operation Under Partial Shading*. IEEE Transaction on Sustainable Energy, Vo. 5, No. 1.
- [9] Sahu H., & Kumar, N. S. (2014). *Power enhancement of partially shaded PV array by using a novel approach for shade dispersion*. IEEE innovative smart grid (ISGT ASIA).

- [10] Nguyen, Xuan Hieu., & Minh Phuong Nguyen (2015). *Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in Matlab/Simulink*. Enviromental System Research a Springer Open Journal.
- [11] Chun, Seunghyun Ph. D, 2011. *Analysis of Classical Root-Finding Methods Applied to Digital Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Energy Generation*. The University of Texas: Austin USA
- [12] Kosyachenko, Leonid A. 2011, *Solar Cell – Silicon Wafer – Based Technologies*, Intech: Rijeka Croatia.
- [13] Ochieng, Reccab M. 2010, *Solar Collectors and Panels, Theory and Application*, Intech: Rijeka Croatia.
- [14] L. Hassaine, E. OLias, J. Quintero, and V. Salas, "*Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems*," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 30, pp. 796-807, Feb.2014.
- [15] X.-S. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm*, Beckington, U.K.: Luniver Press, 2008.
- [16] W Hart, Daniel, 2010, '*Power Electronis*', McGraw-Hill Education

LAMPIRAN

1. *Source Code* koding *Modified PnO* untuk MPPT pada

```
static double clock, tracking, konstanta, faktor;
static double tegangan, arus, duty_old, duty_new, daya_old, daya_new, daya_lama, daya_baru;

// deklarasi variabel dan input output
tegangan=x1;
arus=x2;
clock=x3;
tracking=x4;
faktor=0.75;
y1=duty_new;

//inisialisasi
if(tracking<1)//sampling pengambilan data per periode
{
    konstanta=5;
    duty_old=40;
    daya_old=0;
    daya_lama=0;
    duty_new=duty_old+konstanta;
}

if (tracking>=1)
{
    //konversi sample
    if(clock<=(0.99))
    {
        y1=duty_new;
        daya_new=tegangan*arus;
        daya_baru=daya_new;
    }

    //peturbasi dan observasi
    if(clock>0.99 & daya_baru>daya_lama & duty_new>duty_old)//maju
    {
        duty_old=duty_new;
        duty_new=duty_new+konstanta;
        y1=duty_new;
        daya_lama=daya_baru;
    }

    if(clock>0.99 & daya_baru>daya_lama & duty_new<duty_old)//mundur
    {
        duty_old=duty_new;
        duty_new=duty_new-konstanta;
        y1=duty_new;
        daya_lama=daya_baru;
    }

    if(clock>0.99 & daya_baru<daya_lama & duty_new>duty_old)//offside
    {
        konstanta=konstanta*faktor;
        duty_old=duty_new;
        duty_new=duty_new-konstanta;
        y1=duty_new;
        daya_lama=daya_baru;
    }

    if(clock>0.99 & daya_baru<daya_lama & duty_new<duty_old)//offside
    {
        konstanta=konstanta*faktor;
        duty_old=duty_new;
        duty_new=duty_new+konstanta;
    }
}
```

```

        y1=duty_new;
        daya_lama=daya_baru;

    }

    if(clock>0.99)
    {
        if (duty_new<=0)
        {
            duty_new=0;
        }
        if (duty_new>=100)
        {
            duty_new=100;
        }
        y1=duty_new;
    }
}

```

2. Source Code koding *Firefly Algorithm* untuk MPPT pada

```

static int step, i, n, data, sampling, langkah, iterasi, max_iterasi;
static double tracking, clock;
static double beta, FireflyA, FireflyB, FireflyC, FireflyD, FireflyE, DayaA, DayaB, DayaC, DayaD, DayaE,
DayaA_cal, DayaB_cal, DayaC_cal, DayaD_cal, DayaE_cal, tegangan, arus;
//deklarasi input output
tegangan=x1;
arus=x2;
clock=x3;
tracking=x4;
//faktor pergerakan Firefly beta
beta=0.2;
//inisialisasi Firefly adalah dutycycle yg menyebar
if(tracking<0.1)//sampling pengambilan data per periode
{
    FireflyA=20; //dutycycle = 5
    FireflyB=30;
    FireflyC=40;
    FireflyD=50;
    FireflyE=60;
    y1=40;
}

if (tracking>=1)
{
    if(clock>=(0)&clock<=(20))//sampling pengambilan data per periode
    {
        y1=FireflyA;
        DayaA=tegangan*arus;
        DayaA_cal=DayaA;
    }
    if(clock>=(20)&clock<=(40))//sampling pengambilan data per periode
    {
        y1=FireflyB;
        DayaB=tegangan*arus;
        DayaB_cal=DayaB;
    }
    if(clock>=(40)&clock<=(60))//sampling pengambilan data per periode
    {
        y1=FireflyC;
        DayaC=tegangan*arus;
        DayaC_cal=DayaC;
    }
    if(clock>=(60)&clock<=(80))//sampling pengambilan data per periode
    {

```

```

y1=FireflyD;
DayaD=tegangan*arus;
DayaD_cal=DayaD;
}
if(clock>=(80)&clock<=(99))//sampling Pengambilan data per periode
{
y1=FireflyE;
DayaE=tegangan*arus;
DayaE_cal=DayaE;
}

//Proses kalkulasi pergerakan Firefly
if(clock>=(99))//Kalkulasi
{
y1=FireflyC;

//proses Firefly A dan B
if(DayaA_cal<DayaB_cal)
{
FireflyA=FireflyA+(beta*(FireflyB-FireflyA));
}
if(DayaB_cal<DayaA_cal)
{
FireflyB=FireflyB+(beta*(FireflyA-FireflyB));
}

//proses Firefly A dan C
if(DayaA_cal<DayaC_cal)
{
FireflyA=FireflyA+(beta*(FireflyC-FireflyA));
}
if(DayaC_cal<DayaA_cal)
{
FireflyC=FireflyC+(beta*(FireflyA-FireflyC));
}

//proses Firefly A dan D
if(DayaA_cal<DayaD_cal)
{
FireflyA=FireflyA+(beta*(FireflyD-FireflyA));
}
if(DayaD_cal<DayaA_cal)
{
FireflyD=FireflyD+(beta*(FireflyA-FireflyD));
}

//proses Firefly A dan E
if(DayaA_cal<DayaE_cal)
{
FireflyA=FireflyA+(beta*(FireflyE-FireflyA));
}
if(DayaE_cal<DayaA_cal)
{
FireflyE=FireflyE+(beta*(FireflyA-FireflyE));
}
DayaA_cal=0;

//proses Firefly B dan C
if(DayaB_cal<DayaC_cal)
{
FireflyB=FireflyB+(beta*(FireflyC-FireflyB));
}
if(DayaC_cal<DayaB_cal)

```



```

{
FireflyC=FireflyC+(beta*(FireflyB-FireflyC));
}

//proses Firefly B dan D
if(DayaB_cal<DayaD_cal)
{
FireflyB=FireflyB+(beta*(FireflyD-FireflyB));
}
if(DayaD_cal<DayaB_cal)
{
FireflyD=FireflyD+(beta*(FireflyB-FireflyD));
}

//proses Firefly B dan E
{
FireflyB=FireflyB+(beta*(FireflyE-FireflyB));
}
if(DayaE_cal<DayaB_cal)
{
FireflyE=FireflyE+(beta*(FireflyB-FireflyE));
}
DayaB_cal=0;

//proses Firefly C dan D
if(DayaC_cal<DayaD_cal)
{
FireflyC=FireflyC+(beta*(FireflyD-FireflyC));
}
if(DayaD_cal<DayaC_cal)
{
FireflyD=FireflyD+(beta*(FireflyC-FireflyD));
}

//proses Firefly C dan E
if(DayaC_cal<DayaE_cal)
{
FireflyC=FireflyC+(beta*(FireflyE-FireflyC));
}
if(DayaE_cal<DayaC_cal)
{
FireflyE=FireflyE+(beta*(FireflyC-FireflyE));
}
DayaC_cal=0;

//proses Firefly D dan E
if(DayaD_cal<DayaE_cal)
{
FireflyD=FireflyD+(beta*(FireflyE-FireflyD));
}
if(DayaE_cal<DayaD_cal)
{
FireflyE=FireflyE+(beta*(FireflyD-FireflyE));
}
DayaD_cal=0;
DayaE_cal=0;
}
}

```

TENTANG PENULIS



Ciptian Weried Priananda, lahir di Blitar pada hari Senin, tanggal 18 Juni 1990. Menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Dharma Wanita Sukosewu tahun 1997, kemudian menikmati pendidikan Sekolah Dasar di SDN Sukosewu 1 kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SLTP Negeri 2 Gandusari. Selepas selesai pendidikan Sekolah Menengah Pertama lantas penulis berhijrah untuk menuntut pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Blitar dan lulus pada tahun 2008. Semenjak Sekolah Dasar, Menengah dan Kuliah penulis senang untuk berkontribusi aktif dalam mengikuti kegiatan-kegiatan organisasi.

Penulis yang mengagumi sosok Bacharudin Jusuf Habibie ini, adalah anak bungsu dari 4 bersaudara yang sangat menyayangi ibu dan saudara-saudaranya. Penulis juga mempunyai hobi membaca sambil merenungi dan mengagumi penciptaan alam semesta.

Setelah memasuki jenjang pendidikan tinggi penulis begitu tertarik dengan penelitian dan riset yang berhubungan dengan pemanenan energi dan efisiensi energi. Penulis bisa dihubungi melalui email ciptian.junior@gmail.com, berdiskusi sambil menikmati pisang goreng panas, nasi goreng hangat dan atau mie ayam adalah kegemaran penulis ☺.

Halaman ini sengaja dikosongkan